



TUGAS AKHIR – MO 141326

**ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN PADA *LINK PLATE*
STRUKTUR MULTI LEG ANCHOR MOORING AKIBAT
BEBAN *MOORING***

Hamzah Muslim

NRP. 4313 100 046

DOSEN PEMBIMBING:

Ir. Murdjito M.Sc., Eng

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2017



FINAL PROJECT – MO 141326

**STRESS DISTRIBUTION ANALYSIS ON LINK PLATE
MULTI LEG ANCHOR MOORING DUE TO MOORING
LOAD**

Hamzah Muslim

NRP. 4313 100 046

SUPERVISORS:

Ir. Murdjito M.Sc., Eng

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2017

**Analisis Distribusi Tegangan Pada *Link Plate* Struktur *Multi Leg Anchor*
Mooring Akibat Beban *Mooring***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hamzah Muslim
NRP. 4313 100 046

Disetujui oleh:

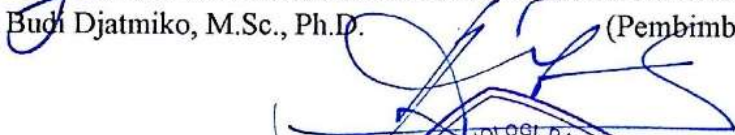
1. Ir. Murdjito, M.Sc., Eng

(Pembimbing 1)



2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)



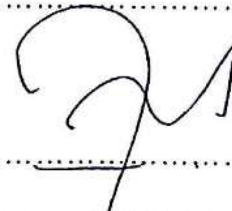
3. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

(Penguji 1)



4. Dr. Eng. Rudi Walujo P., S.T., M.T.

(Penguji 2)



5. Sujantoko, S.T., M.T.

(Penguji 3)

Surabaya, Juli 2017

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN PADA *LINK PLATE* STRUKTUR *MULTI LEG ANCHOR MOORING* AKIBAT BEBAN *MOORING*

Nama Mahasiswa : Hamzah Muslim
NRP : 4313100046
Departemen : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Murdjito M.Sc., Eng
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D.

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian pada sistem tambat SPM (*Single Point Mooring*). SPM memiliki berbagai macam konfigurasi pada tugas akhir ini digunakan desain MLAM (*Multi Leg Anchor Mooring*) yaitu sistem tambat dengan konfigurasi 3 *anchor* dan 1 *sinker* yang dihubungkan pada *link plate* dengan rantai tambat, dan sebuah *buoy* yang dihubungkan dengan *mooring chain*. Dari konfigurasi MLAM tersebut dapat dikatakan bahwa *link plate* sebagai bagian yang sangat penting karena sebagai penghubung semua rantai tambat. Dalam tugas akhir ini fokus analisis ditujukan pada *link plate* untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi akibat gaya tambat tanker dengan ukuran 160000 DWT . Analisis *tension* tali tambat dilakukan dengan *software* Orcaflex dengan menggunakan metode *time domain analysis*. Hasil analisis didapatkan bahwa *tension* maksimum sebesar 3159,29 kN terjadi pada *mooring chain* pada keadaan *full load*. *Link plate* model 1 dimodelkan dengan konfigurasi yakni 4 lubang koneksi dan 1 *padeye* koneksi dan model 2 dengan konfigurasi 3 lubang koneksi dan 2 *padeye* koneksi. Pembebanan pada *link plate* dilakukan sesuai besar *tension* dan sudut hasil simulasi pada keadaan *full load*. Untuk konfigurasi *link plate* desain dengan 4 lubang dan 1 *padeye* didapatkan tegangan *von misses* maksimum sebesar 293,19 Mpa, dan konfigurasi desain *link plate* dengan 3 lubang dan 2 *padeye* didapatkan tegangan *von misses* maksimum sebesar 254,41 Mpa. Dari kedua desain *link plate* didapatkan bahwa tegangan *von misses* maksimum tidak melebihi dari 90% *yield stress* yaitu 310.5 Mpa dan masih memenuhi standar ABS.

Kata Kunci : distribusi tegangan, *multi leg anchor mooring*, *single point mooring*, *von-Misses stress*

STRESS DISTRIBUTION ANALYSIS ON LINK PLATE MULTI LEG ANCHOR MOORING DUE TO MOORING LOAD

Name : Hamzah Muslim
NRP : 4313100046
Department : Teknik Kelautan – FTK ITS
Supervisors : Ir. Murdjito M.Sc., Eng
Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc, Ph.D.

ABSTRACT

A study about SPM (Single Point Mooring) system is conducted in this final project. There are various types of SPM, however MLAM (*Multi Leg Anchor Mooring*) is chosen. MLAM (*Multi Leg Anchor Mooring*) has 3 anchors and 1 sinker connected to a link plate and buoy with mooring chain. Link plate is an important part of MLAM configuration because it connects all the mooring chains. In this final project, the analysis is focused on the link plate to find the stress distribution caused by 160000 DWT tanker. Mooring line tension is simulated on OrcaFlex Software in time domain analysis. In full load condition, the maximum tension occurs in mooring chain (3159.29 kN). There are two models of link plate. Model 1 has 4 connection holes and 1 padeye connection while model 2 has 3 connection holes and 2 pad-eye connections. Link plate is loaded tension as the result of orcaflex simulation and angle in full load condition. Maximum von misses in model 1 is 293.19 MPa while model 2 has 254.41 MPa. Both model do not exceed 90% of yield stress which is 310.50 MPa and fulfill ABS Standart

Keyword : stress distribution multi leg anchor mooring, single point mooring, von-Misses stress

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik, lancar dan tepat waktu. Pada penyelesaian Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Distribusi Tegangan Pada *Link Plate* Struktur *Multi Leg Anchor Mooring* Akibat Beban *Mooring*" ini terdapat banyak bantuan dan dorongan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar penyelesaian Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana S1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini membahas tentang bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada konstruksi *link plate* pada sistem tambat *multi leg anchor mooring* (MLAM) dengan 2 konfigurasi desain.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih ada kekurangan baik dari segi susunan kalimat maupun tata bahasanya. Oleh karena itu dengan tangan terbuka penulis menerima segala saran dan kritik dari pembaca agar penulis dapat memperbaiki. Akhir kata penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat maupun inspirasi terhadap pembaca.

Surabaya, 2017

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan bantuan baik berupa materi maupun do'a baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

Orang tua, kakak, dan adik penulis yang telah memberikan do'a, ridho, dan semangat untuk penulis.

Bapak Ir. Murdjito M.Sc. Eng. selaku dosen pembimbing I dalam Tugas Akhir

Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc. Eng selaku dosen pembimbing II dalam Tugas Akhir.

Bapak Nur Syahroni, ST., M.T., Ph.D. selaku dosen wali penulis yang selalu memberikan nasihat, semangat, dan arahan dari awal hingga akhir perkuliahan.

Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan, dan fasilitas kepada penulis selama perkuliahan.

Seluruh teman-teman seperjuangan dalam suka maupun duka angkatan 2013 Departemen Teknik Kelautan ITS Valtameri L31-P53 yang selalu memberikan dukungan demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Teman-teman dari bimbingan Bapak Ir. Murdjito M.Sc. Eng. dan Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko M.Sc. Eng yang selalu bertukar pikiran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terimakasih atas bantuan, motivasi, dan doanya sehingga saya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	 6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.2. Dasar Teori	7
2.2.1. Teori Gerak Bangunan Laut.....	7
2.2.2. Persamaan Gerak.....	8
2.2.3. Response Amplitude Operator (RAO)	10
2.2.4. Konsep Pembebanan	10
2.2.5. Beban Lingkungan	11
2.2.6. Sistem Tambat.....	13
2.2.7. Single Point Mooring (SPM)	14
2.2.8. Analisis Dinamis	16
2.2.9. Teori Mooring Line.....	17
2.2.10. Tension pada tali tambat	18
2.2.11. Metode Elemen Hingga.....	19
2.2.12. Tegangan von Mises	20

Bab III	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1.	Metode Penelitian	22
3.2.	Prosedur Penelitian	23
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	28
4.1.	Pemodelan Struktur	28
4.1.1.	Pemodelan <i>Tanker</i> Menggunakan <i>Software</i> Maxsurf	28
4.1.2.	Pemodelan <i>Tanker</i> Menggunakan <i>Software</i> Moses	29
4.2.	Validasi Model	31
4.3.	Analisis Perilaku Gerak <i>Tanker</i> Kondisi Terapung Bebas	33
4.4.	Pemodelan Konfigurasi <i>Multi leg anchor mooring</i> Pada <i>Software</i> Orcaflex. 37	
4.5.	Analisis <i>Tension</i> Maksimum Pada <i>Mooring Line</i>	39
4.6.	Pemodelan Konstruksi <i>Link Plate</i>	41
4.7.	Pembebanan Gaya pada <i>Software</i> ANSYS	44
4.8.	Meshing dan Sensitivity	49
4.9.	Analisis Tegangan Lokal Struktur <i>Link Plate</i>	51
4.10.	Analisis Distribusi Tegangan Sekitar Tegangan Maksimum	52
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57
	DAFTAR PUSTAKA	58
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi operasi sistem tambat MLAM.....	2
Gambar 1.2. Konfigurasi Sistem Tambat <i>Multi Leg Anchor Mooring</i> (MLAM) ...	2
Gambar 2.1. Ilustrasi Six Degrees of Freedom	8
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)	23
Gambar 4.1 Model tanker tampak isometris	28
Gambar 4.2 Model tanker tampak depan	29
Gambar 4.3 Model tanker tampak atas	29
Gambar 4.4 Model tanker tampak samping	29
Gambar 4.5 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak isometris	30
Gambar 4.6 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak depan.....	30
Gambar 4.7 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak atas	30
Gambar 4.8 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak samping.....	31
Gambar 4.9 Grafik RAO gerakan surge tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 0°	33
Gambar 4.10 Grafik RAO gerakan surge tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 180°	34
Gambar 4.11 Grafik RAO gerakan heave tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 0°	34
Gambar 4.12 Grafik RAO gerakan heave tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 180°	35
Gambar 4.13 Grafik RAO gerakan pitch tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 0°	35
Gambar 4.14 Grafik RAO gerakan pitch tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 180°	36
Gambar 4.15 Grafik RAO gerakan roll tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 0°	36
Gambar 4.16 Grafik RAO gerakan roll tanker kondisi terapung bebas dengan <i>heading</i> 180°	37
Gambar 4.17 Tampilan graphics mode pada <i>software</i> Orcaflex.....	38

Gambar 4.18 Tampak atas konfigurasi <i>multi leg anchor mooring</i>	38
Gambar 4.19 Tampak samping konfigurasi <i>multi leg anchor mooring</i>	38
Gambar 4.20 Tampak samping hasil simulasi kondisi <i>tanker full load</i>	39
Gambar 4.21 Tampak atas hasil simulasi kondisi <i>tanker full load</i>	39
Gambar 4.22 Tampak samping hasil simulasi kondisi <i>tanker ballast load</i>	40
Gambar 4.23 Tampak atas hasil simulasi kondisi <i>tanker ballast load</i>	40
Gambar 4.24 Posisi <i>link plate</i> pada sistem tambat MLAM	42
Gambar 4.25 Desain <i>link plate</i> model 1	42
Gambar 4.26 Desain <i>link plate</i> model 2.....	42
Gambar 4.27 Hasil model 1 pada <i>software</i> Solidworks.....	43
Gambar 4.28 Hasil model 2 pada <i>software</i> Solidworks.....	43
Gambar 4.29 Acuan sudut azimuth pada <i>software</i> Orcaflex.....	44
Gambar 4.30 Input pembebanan pada model 1	48
Gambar 4.31 Input pembebanan pada model 2.....	48
Gambar 4.32 Letak titik acuan pada model 1	49
Gambar 4.33 Letak titik acuan pada model 2	49
Gambar 4.34 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model 1.....	50
Gambar 4.35 Grafik <i>meshing sensitivity</i> pada model 2.....	50
Gambar 4.36 Letak tegangan <i>von mises</i> maksimum pada model 1	51
Gambar 4.37 Letak tegangan <i>von mises</i> maksimum pada model 2.....	52
Gambar 4.38 Letak tegangan maksimum pada model 1	52
Gambar 4.39 Titik acuan pada peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 1	53
Gambar 4.40 Grafik peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 1	54
Gambar 4.41 Letak tegangan maksimum pada model 2	54
Gambar 4.42 Titik acuan pada peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2.....	54
Gambar 4.43 Grafik peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2	55

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data lingkungan untuk gelombang dan angin.....	24
Tabel 3.2 Data lingkungan untuk arus	24
Tabel 3.3 Ukuran utama <i>buoy</i>	25
Tabel 3.4 Ukuran utama <i>tanker</i> SUEZMAX 160.000 DWT	25
Tabel 3.5 Koordinat single catenary mooring line.....	25
Tabel 3.6 Data peralatan <i>mooring</i>	26
Tabel 3.7 Hawser line properties	26
Tabel 4.1 Data principle dimension tanker	28
Tabel 4.2 Kriteria pada rule ABS (American Bureau of Shipping) pada bagian MODU (Mobile Offshore Drilling Unit)	31
Tabel 4.3 Validasi model pada saat kondisi <i>full load</i>	32
Tabel 4.4 Validasi model pada saat kondisi <i>ballast load</i>	32
Tabel 4.5 Hasil <i>tension</i> tiap <i>mooring line</i> keadaan <i>full load</i>	39
Tabel 4.6 Hasil <i>tension</i> tiap <i>mooring line</i> keadaan <i>ballast load</i>	41
Tabel 4.7 Hasil sudut tiap <i>mooring line</i>	45
Tabel 4.8 Hasil tabulasi <i>meshing sensitivity</i> model 1	50
Tabel 4.9 Hasil tabulasi <i>meshing sensitivity</i> model 2	50
Tabel 4.10 Tabulasi peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 1.....	53
Tabel 4.11 Tabulasi peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

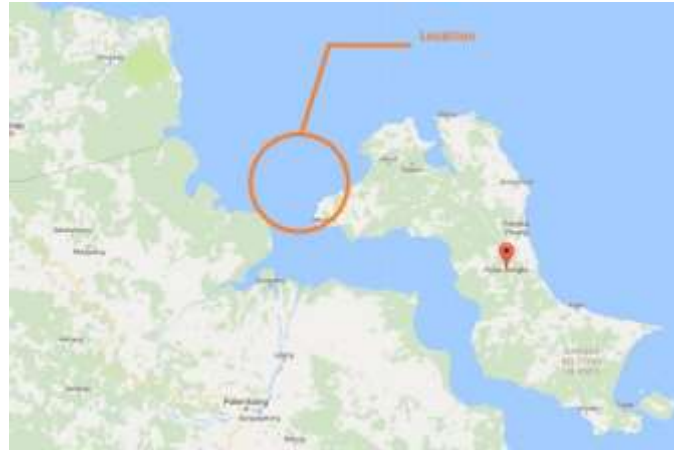
Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang eksploitasi dan eksplorasi minyak dan gas saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat karena besarnya permintaan minyak dan gas yang masih menjadi salah satu sumber energi, selain teknologi eksploitasi dan eksplorasi beberapa penunjang kegiatan ini harus juga mengikuti perubahan sehingga dapat menunjang permintaan. Contoh kegiatan yang sangat penting adalah penyimpanan dan pemindahan hasil minyak dan gas, selama ini penyimpanan dan pemindahan hasil minyak dan gas dilakukan dengan moda transportasi berupa kapal tanker karena memiliki kapasitas yang besar dan dapat mengirimkan hasil minyak dan gas ke daratan didalam negeri maupun keluar negeri dengan biaya yang ekonomis. Sekitar 45% armada pelayaran dunia merupakan armada *tanker* yang dipergunakan untuk mengangkut minyak bumi, pada tahun 2000 jumlah armada *tanker* dunia sekitar 300 juta DWT (Soegiono,2004)

Dalam tugas akhir ini moda transportasi yang digunakan untuk menyimpan maupun memindahkan hasil migas berupa *storage tanker* yaitu *tanker* dengan ruang muat yang cukup besar dan dapat ditambatkan di area produksi sehingga hasil produksi dapat langsung disimpan. *Storage tanker* sama seperti kapal pada umumnya yaitu sistem permesinannya tetap terpasang sehingga apabila diperlukan untuk berpindah tempat *tanker* dapat bergerak sendiri tanpa memerlukan kapal tunda, berbeda dengan FSO yang sistem permesinannya telah dilepas atau dikunci, sehingga diperlukan kapal tunda untuk membantu proses pemindahan. Dengan cara berikut lebih efisien daripada dengan menggunakan FSO (*Floating Storage and Offloading*) sebagai penyimpanan karena tidak diperlukan pembuatan FSO baru maupun mengkonversi tanker menjadi FSO.

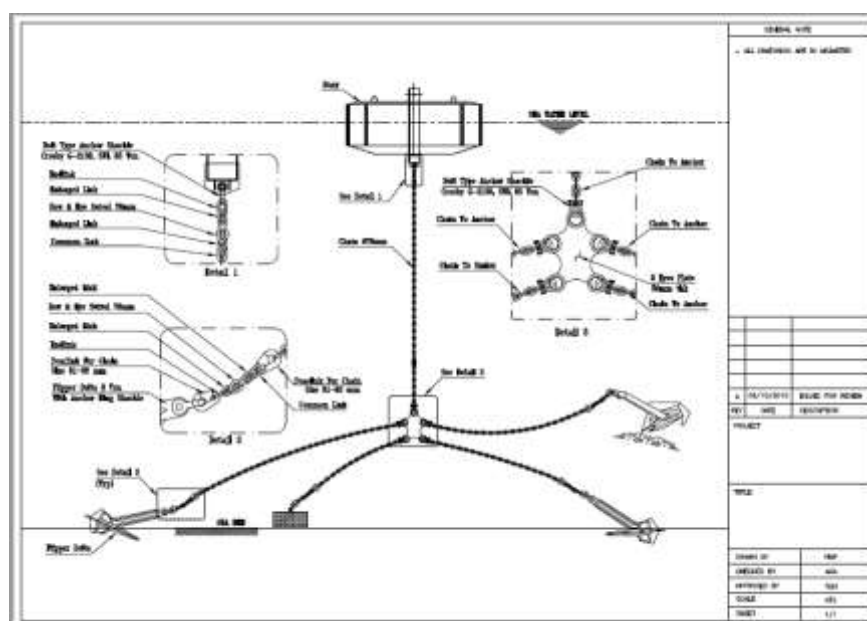
Kegiatan penambatan kapal untuk *cargo transfer* minyak dan gas memerlukan sarana tambat seperti SPM (*single point mooring*), SPM berfungsi sebagai sistem penambatan *tanker* sehingga dalam operasi *tanker* tetap pada posisi dan dapat berputar 360° (*weather vanning*), tanker dapat berfungsi sebagai *mooring system* dengan memindahkan muatan dari *shuttle tanker*. Dengan kegiatan penyimpanan

dan pemindahan seperti ini memiliki beberapa keuntungan yaitu lebih ekonomis dan efisien karena tidak perlu disalurkan ke darat dan tidak memerlukan FSO.



Gambar 1.1. Lokasi operasi sistem tambat MLAM

Untuk struktur penambatan yang akan digunakan pada perairan selat bangka adalah MLAM (*Multi Leg Anchor Mooring*) yaitu sistem tambat dengan 3 *anchor* dan 1 *sinker* yang dihubungkan pada *link plate* sehingga dapat menambat dan menahan kapal agar tidak berpindah posisi akibat beban gelombang. Dari struktur tersebut dapat dikatakan *link plate* sebagai bagian yang sangat penting karena menghubungkan rantai untuk *anchor* dan *buoy* yang tertambat pada tanker yang sedang dalam masa operasi sehingga dapat mengakibatkan tegangan yang besar pada *link plate*.



Gambar 1.2. Konfigurasi Sistem Tambat *Multi Leg Anchor Mooring* (MLAM)

Pada tugas akhir ini bertujuan untuk menghitung besar beban akibat *tension* rantai yang diterima *link plate* pada saat operasi akibat tarikan 160000 DWT, analisis tegangan lokal dilakukan dengan menganalisis distribusi tegangan lokal yang terjadi pada *link plate*. ABS kriteria tegangan *von misses* dipakai sebagai acuan dalam analisis tegangan *von misses* pada *link plate*.

Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

Berapa besar gaya tarik (*tension*) rantai pada sistem tambat *multi leg anchor mooring* (MLAM) akibat beban tarikan *tanker* 160.000 DWT?

Bagaimana alternatif desain *link plate* untuk menahan tarikan *tanker* 160.000 DWT?

Bagaimana distribusi tegangan yang terjadi pada desain *link plate* pada struktur *multi leg anchor mooring* akibat tarikan *tanker* 160.000 DWT?

Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

Mengetahui besar gaya tarik (*tension*) rantai pada sistem tambat *multi leg anchor mooring* (MLAM) akibat beban tarikan *tanker* 160.000 DWT.

Mengetahui alternatif desain *link plate* untuk menahan tarikan *tanker* 160.000 DWT.

Mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada desain *link plate* pada struktur *multi leg anchor mooring* akibat tarikan *tanker* 160.000 DWT.

Manfaat

Dari penelitian ini didapatkan besar gaya tarik (*tension*) rantai yang terjadi pada sistem tambat MLAM (*multi leg anchor mooring*) sehingga diketahui distribusi tegangan yang terjadi pada *link plate* setelah dikenai beban-beban akibat gelombang maupun beban tarikan *tanker*, selain itu didapatkan juga alternatif desain *link plate* untuk *tanker* 160.000 DWT.

Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Sistem tambat yang digunakan adalah *single point mooring* (SPM) tipe MLAM (*Multi Leg Anchor Mooring*).

Tanker yang digunakan adalah *tanker* dengan acuan ukuran SUEZMAX 160.000 DWT.

Tanker di analisis pada keadaan muatan penuh (*full load*) dan *ballast load*.

Analisis dinamis menggunakan metode *time domain*

Codes dan *standards* yang digunakan untuk *mooring* adalah API RP 2SK

Arah pembebanan gelombang 0° dan 180°

Analisis tegangan pada *transfer plate* menggunakan *software* ANSYS.

Kondisi pembebanan lingkungan *collinear*

Struktur buoy dianggap kuat.

Semua *Mooring line* dianggap *intact* sehingga tidak dilakukan analisis *damage*.

Anchor dianggap *fixed*

Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang studi yang akan dilakukan, permasalahan, tujuan yang akan dicapai, manfaat yang diperoleh dan batasan-batasan masalah serta sistematika penulisan laporan yang dipakai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dalam menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang struktur bangunan lepas pantai yang pernah dilakukan sebelumnya. Selain itu juga berpedoman pada jurnal-jurnal internasional, literatur-literatur, buku, *codes* yang berkaitan dengan *offshore structure* sebagai dasar teori dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pemikiran dari keseluruhan penelitian serta langkah-langkah pengerjaan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan pembahasan hasil analisis penelitian dalam tugas akhir ini. Bab ini membahas pengolahan data hasil dari output pemodelan hingga menghasilkan kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan mengenai tahap akhir dari penulisan tugas akhir, yang mana berisi tentang hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan sesuai dengan permasalahan yang ada, serta beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyempurnaan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan Pustaka

Proses penyimpanan hasil minyak dan gas pada saat ini mengandalkan FSO (*Floating Storage and Offloading*) sebagai ruang penyimpanan karena kapasitas dan memiliki kemampuan menyalurkan hasil minyak dan gas ke *shuttle tanker*. Selain FSO (*Floating Storage and Offloading*) terdapat juga FPSO (*Floating Production Storage Offloading*) juga dapat digunakan sebagai ruang penyimpanan. Menurut OCIMF *Tandem Mooring Offloading Guidelines for CTs at F(P)SO Facilities*, FSO dan FPSO memiliki kesamaan namun yang membedakan adalah pada FPSO hasil minyak atau gas diproses di kapal sedangkan FSO tidak memiliki kemampuan untuk memproses pada kapal.

Sejak tahun 1990-an telah terjadi peningkatan pada sektor North Sea ke produksi laut dalam dengan menggunakan sistem produksi dan penyimpanan terapung (Siddik, 2005). Seperti yang disebutkan Purnawanti (2015), secara sederhana FSO merupakan tanker yang ditambat pada sistem tambat. Sistem tambat yang biasa digunakan yaitu SPM (*single point mooring*). Karena karakter dari struktur terapung yang bergerak mengikuti gerakan gelombang maka dibutuhkan sistem penambatan untuk mempertahankan posisi yang diinginkan dengan menggunakan rantai atau kabel. Sehingga mengakibatkan sistem tambat menjadi bagian kritis pada saat operasi akibat gaya-gaya yang bekerja untuk mempertahankan struktur berada pada posisi yang diinginkan.

Pada tugas akhir ini dibahas mengenai analisis distribusi tegangan pada *link plate* karena pada bagian tersebut mendapatkan gaya-gaya dari berbagai arah berupa *tension* dari setiap *line* yang dihubungkan pada *link plate*. Penelitian yang dilakukan pada sistem tambat FSO telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Mauliani (2015) melakukan penelitian terhadap kekuatan struktur global *buoy* pada *single point mooring* FSO Arco Ardjuna. *Buoy* pada sistem tambat FSO Arco Ardjuna telah memasuki umur operasi sehingga memerlukan adanya analisis ulang kekuatan global dari struktur *buoy*. Dengan mengetahui gerakan dari FSO dan *single point mooring*, maka dapat diketahui besar *tension hawser* dan rantai jangkar,

sehingga dapat dianalisis pengaruhnya terhadap konstruksi *buoy* dan dianggap aman dalam beroperasi.

Penelitian tentang kekuatan lokal telah dilakukan oleh Agustina (2012) yaitu Analisis kekuatan kelelahan *soft yoke mooring system* akibat beban siklis gelombang pada FSRU, pada penelitian tersebut menganalisis tegangan lokal dengan *software* ANSYS sebelum menghitung umur kelelahan. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, penulis akan melakukan analisis tegangan *mooring line* sehingga diketahui *tension* yang diterima oleh *link plate* sehingga dapat dianalisis distribusi tegangan lokal yang terjadi.

Dasar Teori

Teori Gerak Bangunan Laut

Sebuah struktur bangunan apung memiliki enam mode gerakan bebas yang biasa disebut *six degrees of freedom* yang terbagi menjadi 2, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 gerakan rotasional (Soetomo, 2010). Berikut 6 mode gerakan tersebut :

Mode gerak translasional

Surge, gerakan translasional pada sumbu-x

Sway, gerakan translasional pada sumbu-y

Heave, gerakan translasional pada sumbu-z

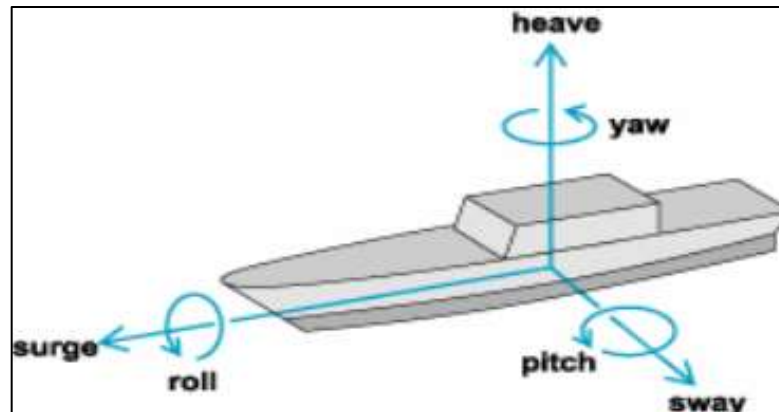
Mode gerak rotasional

Roll, gerakan rotasional terhadap sumbu-x

Pitch, gerakan rotasional terhadap sumbu-y

Yaw, gerakan rotasional terhadap sumbu-z

Gerakan struktur bangunan dalam *six degrees of freedom* dapat dijelaskan melalui ilustrasi gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Six Degrees of Freedom

Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni yaitu *heave*, *roll*, dan *pitch*, karena gerakan tersebut bekerja pada gaya atau momen pengembali ketika struktur tersebut dari posisi kesetimbangannya. Sedangkan gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw* struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula, kecuali terdapat gaya atau momen pengembali yang bekerja berlawanan arah.

Persamaan Gerak

Gerak dari bangunan apung dapat dianalisis menggunakan hukum II Newton yaitu:

$$\sum F = m_i \ddot{\xi}_i \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

i = Mode gerak struktur dengan
1 (surge), 2 (sway), 3 (heave), 4 (roll), 5 (pitch) dan 6 (yaw)

$\sum F$ = Resultan gaya

m = Massa struktur

$\ddot{\xi}$ = Percepatan struktur

Persamaan (2.1) menunjukkan hubungan antara resultan gaya dengan massa benda dan percepatan benda. Resultan gaya untuk benda terapung merupakan pengurangan gaya aksi dengan gaya reaksi. Hal ini dikarenakan gaya aksi (gaya eksitasi) memberi gaya kepada struktur sedangkan gaya reaksi merupakan gaya yang dilakukan oleh struktur (persamaan 2.2 dan 2.3)

$$\sum F = F_{eksitasi} - F_{reaksi} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\sum F = F_{eksitasi} - (F_a + F_b + F_c) \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan,

- $\sum F$ = Resultan gaya
- $F_{eksitasi}$ = Gaya eksitasi gelombang
- F_a = Gaya inersia
- F_b = Gaya redaman
- F_c = Gaya pengembali

Persamaan diatas tidak memperhatikan gerak kopel bangunan. Dalam pengertian itu, setiap mode gerak tidak mempengaruhi gerak benda yang lain. Di sisi lain, gerak couple adalah persamaan gerak yang setiap geraknya bisa saling mempengaruhi gerak yang lainnya. Menurut Djatmiko (1992), persamaan gerak couple untuk kondisi terapung dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks, dengan persamaan 2.4.

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan:

- M_{jk} = komponen matriks massa kapal
- A_{jk}, B_{jk} = matriks koefisien massa tambah dan redaman
- C_{jk} = koefisien-koefisien gaya hidrostatis pengembali
- F_j = amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

F1, F2, dan F3 adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway*, dan *heave*. Sedangkan F4, F5, dan F6 adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

Pada kasus bangunan apung yang tertambat persamaan gerak menjadi persamaan 2.5 (Chen X. , 2011)

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^6 [-\omega^2 (\delta_{nm} M_{jk}^{nm} + A_{jk}^{nm}) - i\omega B_{jk}^{nm} + \delta_{nm} C_{jk}^{nm} + C_{jk}^{*nm}] \zeta_j = F_j^n \quad (2.5)$$

dengan,

- n = 1, 2, 3, ..., M menunjukkan jumlah nth struktur
- k = 1, 2, 3, ..., 6

δ_{nm} = symbol Kronecker delta, mempunyai nilai 0 jika $n \neq m$ dan 1 jika $n = m$, sehingga \mathbf{M}_{jk}^{mm} and \mathbf{C}_{jk}^{mm} adalah matriks inersia dan hidrostatik dari bangunan m^{th}

\mathbf{A}_{jk}^{nm} = matrik massa tambah untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks massa tambah bangunan m^{th} akibat bangunan n^{th} ($n \neq m$),

\mathbf{B}_{jk}^{nm} = matrik redaman hidrodinamika untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks redaman hidrodinamika m^{th} akibat bangunan n^{th} saat ($n \neq m$),

\mathbf{C}_{jk}^{*nm} = matrik kekakuan untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks kekakuan m^{th} akibat bangunan n^{th} saat ($n \neq m$),

\mathbf{F}_j^n = matriks gaya eksitasi pada bangunan n^{th} .

Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{\xi_k(\omega)}{\xi_w(\omega)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

ξ_k = Amplitudo struktur

ξ_w = Amplitudo gelombang

Konsep Pembebanan

Kemampuan kerja suatu struktur bangunan apung ditentukan melalui pengaruh beban yang terjadi pada struktur tersebut. Sehingga dalam proses perancangan struktur bangunan apung diperlukan penentuan beban yang akan diterima struktur. Menurut Soedjono (1998) beban-beban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut:

Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah beban dari komponen-komponen kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan, dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur, beban mati meliputi: beban struktur, berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran

Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada bangunan lepas pantai selama beroperasi dan bisa berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain.

Beban akibat kecelakaan (*Accidental load*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai, misalnya tabrakan dengan kapal pemandu operasi, putusnya tali tambat, kebakaran, letusan.

Beban lingkungan (*Environmetal Load*)

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah :

- *Wave drift force*
- Beban arus
- Beban angin

Beban Lingkungan

Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan sebuah struktur lepas pantai pada umumnya, perhitungan beban angin pada kondisi terikat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan OCIMF *mooring equipment guidlines* – 1997:

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \dots\dots\dots (2.7)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

F_{xw} = Gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} = Gaya angin lateral (kN)

C_{xW} = Koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

C_{yW} = Koefisien gaya angin transversal non dimensional

ρ_w = Densitas udara = 1.223 Kg/m³ pada 20° C

V_w = Kecepatan angin pada ketinggian 10m (knot)

AT = Luas penampang transversal diatas air (m²)

AL = Luas penampang longitudinal diatas air (m²)

Persamaan 2.8 dan 2.9 adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya beban angin pada luasan struktur diatas permukaan air, data yang diperlukan dalam menghitung beban angin adalah besarnya luasan *freeboard* transversal dan longitudinal pada struktur, serta koefisien gaya angin yang didapatkan berdasarkan grafik penentuan koefisien gaya angin yang terdapat pada OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997.

Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap struktur lepas pantai. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linier berdasarkan OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997 dituliskan :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.9)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)

F_{yc} = gaya arus lateral (kN)

C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional

C_{yc} = koefisien gaya arus transversal non dimensional

ρ_c = densitas air laut = 1025 Kg/m³ pada 20° C

V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10m (knot)

T = Draft kapal (m)

LBP = length between perpendicular (m)

Persamaan 2.10 dan 2.11 adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya beban arus pada struktur, data yang diperlukan dalam menghitung beban arus adalah perbandingan kedalaman laut terhadap sarat kapal, jenis dari haluan kapal, koefisien gaya arus didapatkan berdasarkan grafik penentuan koefisien gaya angin yang terdapat pada OCIMF *mooring equipment guidelines* – 1997.

Kondisi Pembebanan *Collinear*

Kondisi pembebanan *collinear* adalah kondisi arah datangnya beban lingkungan yang mengenai struktur dengan keadaan dimana arah datang dari beban angin, beban gelombang, dan beban arus yang sama dan searah. Analisis dampak dari kondisi arah datang beban lingkungan perlu dilakukan karena efek dari kondisi arah datang beban lingkungan yang berbeda-beda dapat mengakibatkan efek yang cukup signifikan untuk beberapa jenis sistem tambat pada struktur terapung (Lloyd Register, 2013). Dalam aturan yang dikeluarkan Lloyd register pada bagian “Floating Offshore Installation on Fixed Location” telah menentukan beberapa kondisi arah pembebanan yang perlu dianalisis dalam penganalisisan sistem tambat, untuk kondisi pembebanan *collinear*, perlu dilakukan simulasi dengan arah sudut hingga 15° .

Sistem Tambat

Sistem tambat memiliki fungsi untuk menjaga kapal tetap pada posisinya. Sistem tambat dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu *weathervaning* dan *non-weathervaning*. Yang termasuk dalam sistem tambat *weathervaning* adalah *single point mooring* (SPM), *turret mooring system* dan *tower yoke mooring system*. Sedangkan sistem tambat *non-weathervaning* adalah *spread mooring* dan *jetty mooring system*.

Single Point Mooring (SPM)

Single point mooring (SPM) adalah suatu struktur bangunan apung yang berfungsi sebagai penambatan dan interkoneksi untuk muatan tanker atau pembongkaran produk gas atau cairan yang dilakukan di lepas pantai. SPM memiliki kelebihan mampu digunakan untuk ukuran kapal apapun, termasuk *tanker* yang sangat besar. *Single point mooring* sering digunakan dalam operasi eksploitasi minyak dan gas dengan FPSO maupun FSO.

Menurut (Barltrop, 1998) ada beberapa jenis SPM antara lain

Fixed tower

Single Anchor leg mooring (SALM) *buoy*

Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) *buoy*

Articulated Loading Platform (ALP)

Single Point and Reservoir (SPAR)

Turret Mooring

Sistem *Single Point Mooring* terbagi atas empat bagian, yaitu badan pengapung (*body buoy*), *mooring* (tambat atau elemen penahan), sistem transfer dan komponen lainnya. Semua bagian ini sama-sama penting.

Badan Pengapung (*Body Buoy*)

Badan pengapung biasanya didukung pada kaki statis melekat pada dasar laut, dengan bagian yang berputar di atas permukaan air yang terhubung ke kapal tanker. Dua bagian dihubungkan oleh bantalan rol, disebut sebagai “bantalan utama”. Kapal tanker ditambatkan bebas di sekitar pengapung dan mencari posisi yang stabil dengan pengaturan yang sudah ditentukan.

Mooring (Tambat atau Elemen Penahan)

Mooring berfungsi menahan pengapung dipermukaan laut. Desain *buoy* harus disesuaikan dengan kondisi atau perilaku angin, gelombang, arus, dan ukuran kapal tanker. Hal ini menentukan susunan *mooring* optimal dan ukuran komponen kaki semua tambatan. *Anchoring point* juga sangat tergantung pada kondisi tanah setempat.

Komponen *mooring* terbagi atas:

Jangkar , untuk menghubungkan tambatan ke dasar laut

Rantai jangkar

Chainstoppers, untuk menghubungkan rantai pada pelampung

Tali tambat kapal, sebuah kapal tanker ditambatkan ke sebuah pelampung dengan menggunakan tali tambat kapal. Susunan tali tambat kapal biasanya terdiri dari tali nilon yang diikat ke tambat yang ada di dek pelampung. Sistem tali tambat kapal menggunakan satu atau dua tali tali tambat tergantung pada ukuran kapal yang akan berlabuh ke pelampung.

Sistem transfer

Fungsi masing-masing pelampung adalah sebagai sistem transfer. Dari lokasi geostatik yang terletak di dasar laut lalu sistem ini mentransfer produk ke kapal tanker yang berlabuh di sekitar pelampung. Komponen sistem transfer produk dari dasar laut adalah

Flexible Subsea Hoses yang biasa disebut dengan “Risers”. *Riser* adalah selang fleksibel yang menghubungkan pipa bawah laut ke pelampung. Pengaturan *riser* ini dapat bervariasi tergantung pada kedalaman air laut, gerakan pelampung dan lain-lain.

Floating Hose, menghubungkan pelampung ke kapal *tanker*. *Floating Hose* dilengkapi dengan lapisan yang banyak untuk mencegah pecahnya selang dan menghindari tumpahan minyak.

Swivel, adalah hubungan antara geostatik atau dasar laut dengan bagian yang berputar dari pelampung. *Swivel* mempunyai berbagai ukuran tergantung pada ukuran pipa yang terpasang dan *riser*. *Swivel* adalah jalur independen khusus untuk produk atau satu cairan yang akan diambil dari dasar laut. *Swivel* dilengkapi dengan pengaturan segel ganda untuk meminimalkan kemungkinan kebocoran produk ke lingkungan.

Valves (katup)

Piping (pipa)

Komponen Lainnya

Sebuah landing perahu yang menyediakan akses ke geladak pelampung dari kapal tanker

Fendering untuk melindungi pelampung

Toolkit untuk penanganan penanganan material yang rusak

Navigasi maritim

Sebuah subsistem listrik untuk memungkinkan operasi katup dan navigasi atau peralatan lainnya

Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respon dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman dan percepatan relatif fluida disertakan. Dalam pendekatan ini, gerakan *fairlead* variasi waktu dihitung dari gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw* dari bangunan apung. Berdasarkan API-RP2SK 3rd edition (2005), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

Frequency Domain Analysis

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan platform, gaya tendon dan sudut. Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, input dan output juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan non-linear harus diubah menjadi linear. Pada *frequency domain analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem linear dapat diformulasikan dengan persamaan.

$$M(\omega)r + C(\omega)r + K(\omega)r = Xei\omega t \dots\dots\dots (2.11)$$

dengan:

$M(\omega)$: Matriks massa fungsi frekuensi (ton)

$C(\omega)$: Matriks damping fungsi frekuensi (ton/s)

$K(\omega)$: Matriks kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)

X : Vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan. Pola $ei\omega t$ menetapkan variasi harmonik dari contoh beban dengan frekuensi ω

r : Vektor displacement (m)

Time Domain Analysis

Time domain analysis adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat di bawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan untuk meminimalkan efek transient. Namun, metode ini membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar dan lain-lain. Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe non-linear (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kerugiannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih. Minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 s). Simulasi yang digunakan pada tugas akhir ini adalah simulasi *time domain* sebagai metode untuk analisis dinamis dalam mencari nilai *tension* dan simulasi *frequency domain* untuk mencari respon struktur. Metode ini biasa digunakan pada kondisi ekstrim tetapi tidak digunakan untuk analisis kelelahan (*fatigue*).

Teori Mooring Line

Berdasarkan API-RP2SK 3rd edition (2005), *mooring line* pada *vessel* yang ditambat dapat dibuat dari *chain*, *wire rope*, *synthetic rope* atau kombinasinya. Tipe *mooring line* yang digunakan pada *floating structure* dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

Semua *mooring line* terbuat dari tali kabel (*wire rope*). *Wire rope* lebih ringan daripada rantai. Karena itu, pada umumnya *wire rope* memiliki *restoring force* yang lebih di perairan laut dalam dan memerlukan tegangan awal (*pretension*) yang rendah dari pada rantai. Bagaimanapun juga, untuk menghindari terangkatnya *anchor* dari dasar laut maka diperlukan *wire rope* yang sangat panjang. Rusak yang disebabkan oleh abrasi antara *wire rope* dengan dasar laut yang keras terkadang dapat menjadi suatu masalah. Terlebih lagi *wire rope* memerlukan perawatan yang

sangat hati-hati. Korosi yang diakibatkan oleh kurangnya pelumasan atau kerusakan mekanik pada *wire rope* dapat menyebabkan lebih banyak kegagalan. Semua *mooring line* terbuat dari *chain*. Rantai telah menunjukkan keunggulannya pada *offshore operations*. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan memiliki kontribusi terhadap daya cengkram *anchor* yang sangat signifikan. Akan tetapi, karena *chain* memiliki berat yang besar maka rantai tidak terlalu digunakan pada kondisi operasi perairan laut dalam.

Kombinasi antara *chain* dan *wire rope*.

Dengan pemilihan panjang yang tepat dari gabungan antara *wire rope* dan *chain*, maka akan diperoleh sistem *mooring* yang menguntungkan, yaitu *pretension* yang rendah, *restoring force* yang tinggi dan *holding anchor* yang lebih besar dan daya tahan terhadap abrasi dasar laut yang bagus. Hal tersebut membuat sistem ini cocok digunakan pada operasi laut dalam.

Perlu diketahui bahwa sistem *mooring* sebaiknya dilakukan analisis berdasarkan formulasi kriteria desain yang terbagi dalam tiga bagian batas, antara lain:

An ultimate limit state (ULS) untuk memastikan bahwa setiap bagian *mooring lines* mempunyai kekuatan yang memadai untuk menahan efek beban yang diakibatkan oleh kondisi lingkungan ekstrem.

An accidental limit state (ALS) untuk memastikan bahwa sistem *mooring* mempunyai kapasitas untuk menahan apabila terjadi kegagalan di salah satu *mooring line*, kegagalan dalam satu *thruster* atau satu kegagalan dalam pengontrol *thruster* atau *power system*.

A fatigue limit state (FLS) untuk memastikan bahwa setiap bagian *mooring lines* mempunyai kapasitas dalam menahan beban siklis.

Tension pada tali tambat

Gerakan pada kapal yang terjadi akibat pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan (*tension*) pada *mooring line*. Tarikan yang terjadi pada *mooring line* dibedakan menjadi 2, antara lain:

Mean tension

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada kapal

Maximum tension

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum *mooring line* dapat menggunakan persamaan dibawah ini

$$T_{max} = T_H + wh \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan

T_{max} = *Tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = *Horizontal pre-tension* (ton)

w = Berat *chain* di air (ton/m)

h = kedalaman perairan (m)

menurut API RP 2SK, *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam persamaan

$T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots\dots\dots (2.13)$$

$T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan,

T_{mean} = *Mean tension*

T_{max} = *Maximum tension*

T_{wfmax} = *Maximum wave frequency tension*

T_{wfsig} = *Significant wave frequency tension*

T_{lfmax} = *Maximum low frequency tension*

T_{lfsig} = *Significant low frequency tension*

Metode Elemen Hingga

Analisis perilaku struktur dapat dilakukan dengan eksperimental dan analisis numerik. Analisis numerik sendiri dapat berupa permodelan matematis, permodelan analitik, rumus empiris. Penggunaan model matematik untuk penyelesaian masalah-masalah *engineering* jarang sekali mencapai hasil yang analitik, kecuali untuk kasus yang sederhana. Karena penyelesaian pada masalah-masalah teknik akan menghasilkan suatu ekspresi matematik yang masih rumit dan melibatkan keadaan batas (*boundary condition*), sifat material, ketidaklinieran dan

lain sebagainya. Mengingat hal tersebut, maka penggunaan analisis numerik menjadi populer. Karena hasil pada analisis numerik jarang eksak namun kesalahan berkurang pada proses penyelesaian persamaan, sehingga dianggap cukup akurat untuk tujuan keteknikan. Pada kasus-kasus yang rumit, sering dipakai *numerical modeling* (FEM), sebagai salah satu bentuk *numerical method* yang mampu menganalisis struktur yang kompleks.

Pendekatan numerik merupakan suatu metode yang menggunakan informasi pada titik diskret, yang didapat dengan membagi suatu model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Karena itu metode ini dikenal dengan Metode Elemen Hingga atau lebih di kenal dengan *Finite Element Method* (FEM). Prinsip dasar FEM adalah memperlakukan suatu sistem sebagai elemen satu digabungkan dengan elemen yang lain melalui titik-titik yang disebut *nodes* atau *nodal point*. Bentuk elemen yang terpilih dapat berupa elemen segitiga atau elemen segi empat. Sehingga penyelesaian sistem secara keseluruhan didapatkan dari penggabungan elemen-elemen kecil.

Tegangan von Misses

Tegangan *von misses* merupakan kombinasi geometris tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi pada bagian tertentu pada struktur. Tegangan *von misses* berlaku pada material yang ulet (*ductile*).

Pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x,y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan 2.

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan :

- σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu
- σ_x = tegangan arah sumbu x
- σ_y = tegangan arah sumbu y
- σ_z = tegangan arah sumbu z
- σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Pengabungan tegangan-tegangan utama pada suatu elemen merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula tegangan *von Mises* yang ditulis pada persamaan berikut

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.16)$$

σ_{eq} = tegangan ekuivalen (*von mises stress*)

σ_x = tegangan normal sumbu x

σ_y = tegangan normal sumbu y

σ_z = tegangan normal sumbu z

τ_{xy} = tegangan geser bidang yz

τ_{yz} = tegangan geser bidang zx

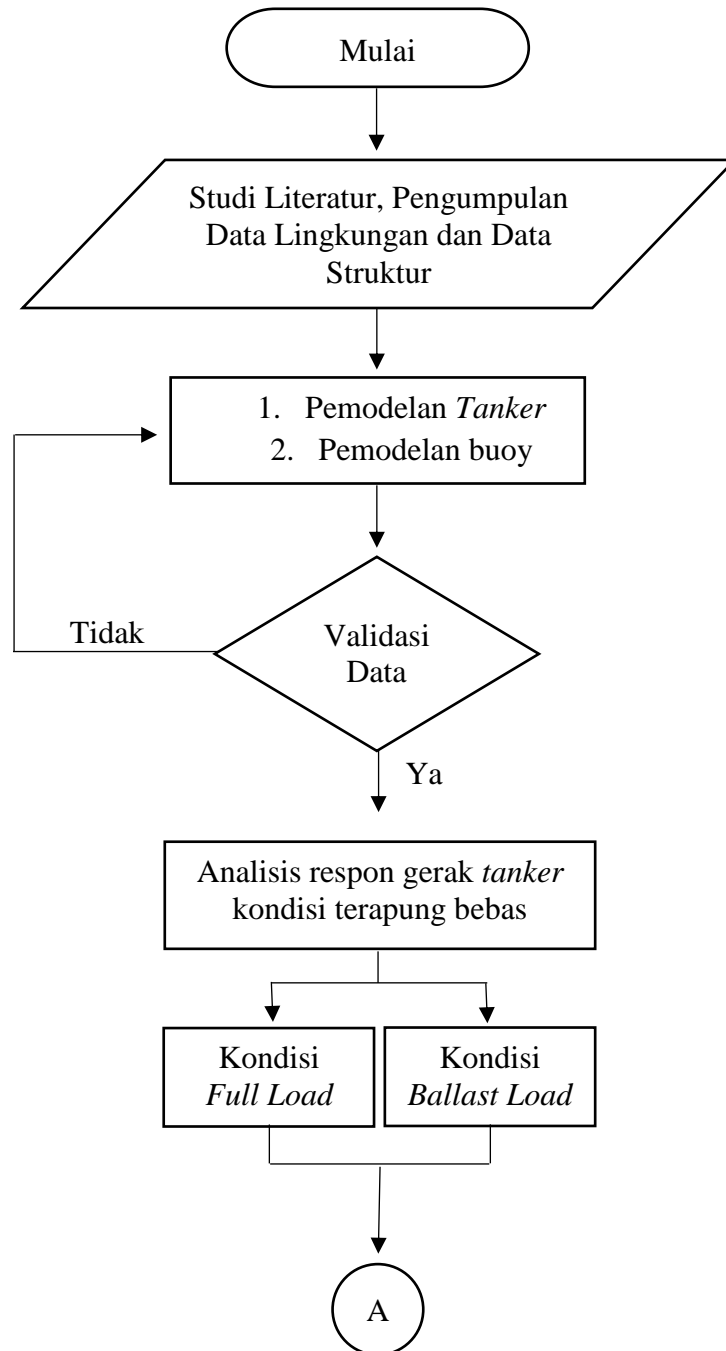
τ_{zx} = tegangan geser bidang xy

BAB III

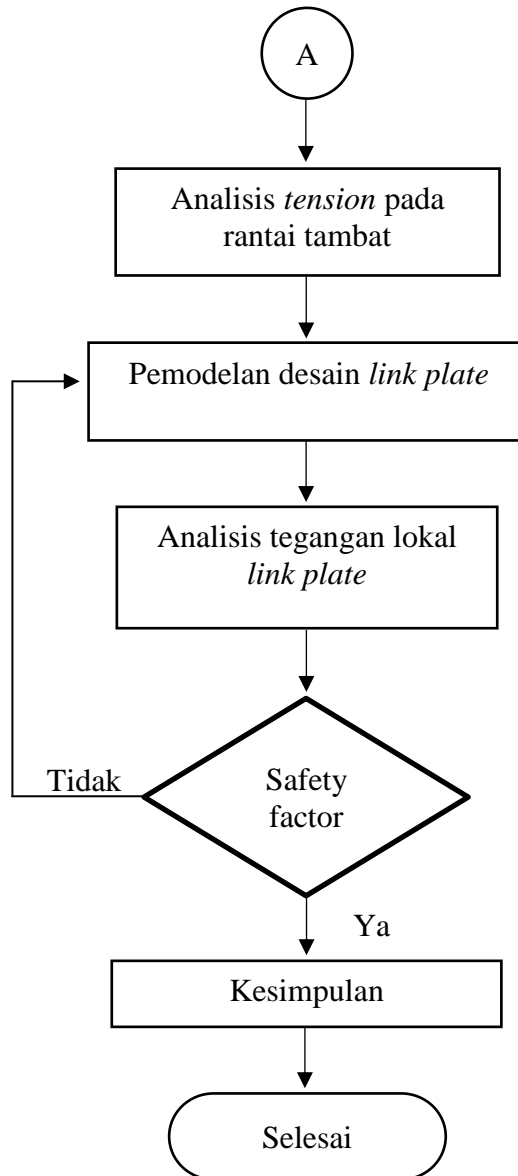
METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian dalam Tugas Akhir ini dijelaskan menggunakan diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

Prosedur Penelitian

Studi literatur, pengumpulan data lingkungan dan data struktur.

Studi literatur

Pengumpulan informasi dan penelitian yang telah dilakukan mengenai sistem tambat dan analisis tegangan lokal. Pada tugas akhir ini, studi literatur diambil dari berbagai sumber seperti buku-buku, penelitian sebelumnya berupa tugas akhir dengan topik yang berkaitan, dan jurnal. Dari sumber tersebut didapatkan dasar teori, *codes*, dan *standard* yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir.

Data lingkungan

Data lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah lingkungan pada perairan selat bangka. Data lingkungan yang digunakan untuk analisis kekuatan ditampilkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Data lingkungan untuk gelombang dan angin

Wave Data						Wind Data		
1-year		10-years		50-years		1-year	10-years	50-years
Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	V (m/s)		
1.52	7.12	2.47	8.07	3.55	9.15	21.88	22.83	23.91

Tabel 3.2 Data lingkungan untuk arus

% of depth (m)	1-year	10-years
	Speed (m/s)	
0	1.68	2.63
10	1.86	2.82
20	1.70	2.66
30	1.85	2.80
40	2.02	2.98
50	2.29	3.25
60	2.09	3.05
70	2.31	3.26
80	1.56	2.51
90	1.38	2.33
100	1.44	2.39

Kondisi perairan di modelkan berdasarkan spektrum JONSWAP dengan Gamma sebesar 0,9.

Data struktur

Data struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini ditampilkan pada Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, Tabel 3.6, dan Tabel 3.7.

Tabel 3.3 Ukuran utama *buoy*

BUOY DATA			
Diameter (m)	7.62		
Draft (m)	-1.30		
Height (m)	3.05		
Weight (t)	40		
Center of Gravity (m)	X	Y	Z
	0	0	1.45
Radius of Gyration (m)	X	Y	Z
	2.098	2.098	2.693

Tabel 3.4 Ukuran utama *tanker* SUEZMAX 160.000 DWT

Parameter	Unit	Full Load	Ballast
Lpp	m	265	265
Breadth	m	49	49
Draft	m	17	7
KG	m	15	8.59
Displacement	ton	185734.90	72160.36
K _{xx}	m	19.54	15.96
K _{yy}	m	79.36	79.36
K _{zz}	m	79.36	79.36

Tabel 3.5 Koordinat single catenary mooring line

Single Catenary Mooring Line Coordinates						
Anchor Line n°	Sinker			Anchor		
	X (m)	Y (m)	Z (m) vs LAT level	X (m)	Y (m)	Z (m) vs LAT level
1	0.00	0.00	-54.00	55.00	0.00	-54.00
2	0.00	0.00	-54.00	-27.50	47.63	-54.00
3	0.00	0.00	-54.00	-27.50	-47.63	-54.00

Tabel 3.6 Data peralatan *mooring*

Equipment	Units	Value
Mooring Chain		
Type	~	Studless
Diameter	mm	92
Lenght of mooring line	m	95
MBL	Tons	704
Anchor Line		
Type	~	Studless
Lenght of @ anchor line	m	55
Diameter	mm	105
MBL	Tons	892.25 (Grade 3)

Tabel 3.7 Hawser line properties

Hawser – BRAIDLINE NYLON			
Material	Nylon Braidline 2x56 mm		
Length	80 m		
MBL	146 tons/hawser Total MBL is 292 tons		
Axial stiffness	197.15 ton		
Fairlead coordinates on buoy regarding buoy COG	X (m)	Y (m)	Z (m)
	-2.00	0.00	2.74
Fairlead coordinates on Tanker regarding Tanker COG (Tanker Suezmax Full)	-5.00	0.00	22.00

Pemodelan *tanker*

Pemodelan *tanker* dibuat menggunakan *software* Maxsurf dan divalidasi berdasarkan *hidrostatik* sesuai dengan *tanker* yang digunakan.

Pemodelan dan *running* dengan Moses

Pemodelan dan *running* dengan Moses dilakukan untuk mendapatkan hasil RAO (Analisis Respon Gerak), *wave drift*, *added mass*, dan *damping force* dalam keadaan terapan bebas.

Pemodelan sistem tambat dengan Orcaflex

Pada tahap selanjutnya dilakukan pemodelan *tanker* dan MLAM (*multi leg anchor mooring*) dengan menggunakan *software* Orcaflex. Dalam tahap ini dilakukan dua kondisi yaitu *full load* dan *ballast load*.

Analisis *tension* tali

Analisis *tension* tali pada sistem tambat MLAM (*multi leg anchor mooring*) dilakukan menggunakan *software* Orcaflex dilakukan untuk mengetahui *tension* maksimum dengan metode *time domain*.

Pemodelan *link plate*

Untuk mempermudah pemodelan dilakukan pemodelan menggunakan *software* Solidworks mendapatkan hasil pemodelan *solid* dan dilakukan pemilihan material.

Analisis tegangan lokal pada *link plate*

Analisis tegangan lokal *link plate* dilakukan dengan *running* menggunakan *software* ANSYS. Hasil pemodelan dilakukan *meshing* terlebih dahulu dan dimasukkan beban-beban. Pada hasil *running* diketahui lokasi tegangan *von mises* maksimum yang terjadi pada *link plate*.

Kesimpulan

Kesimpulan diambil sesuai dengan hasil analisis yang telah dilakukan, yaitu besar *tension* tali, distribusi tegangan yang terjadi pada *link plate*, dan hasil desain untuk peningkatan kapasitas *tanker*.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

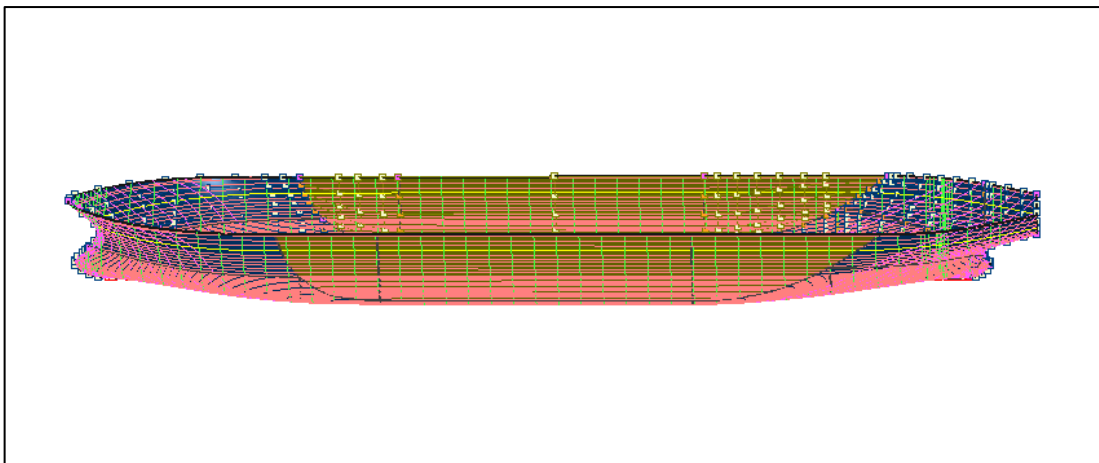
Pemodelan Struktur

Pemodelan *Tanker* Menggunakan *Software* Maxsurf

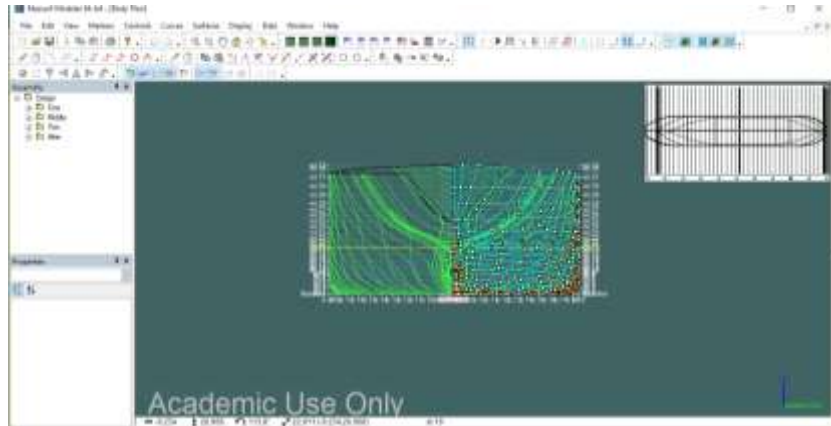
Pemodelan menggunakan *software* Maxsurf Modeler untuk memodelkan lambung tanker digunakan input sesuai data seperti pada Tabel 4.1 yang bertujuan untuk mendapatkan data hidrostatik. Model yang dihasilkan dari *software* Maxsurf Modeler digunakan titik koordinat *marker* sebagai *input* pada *software* Moses, pemodelan menggunakan kondisi terapung bebas dengan 2 pembebanan yaitu ketika *full load* dan *ballast load*. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.4

Tabel 4.1 Data principle dimension tanker

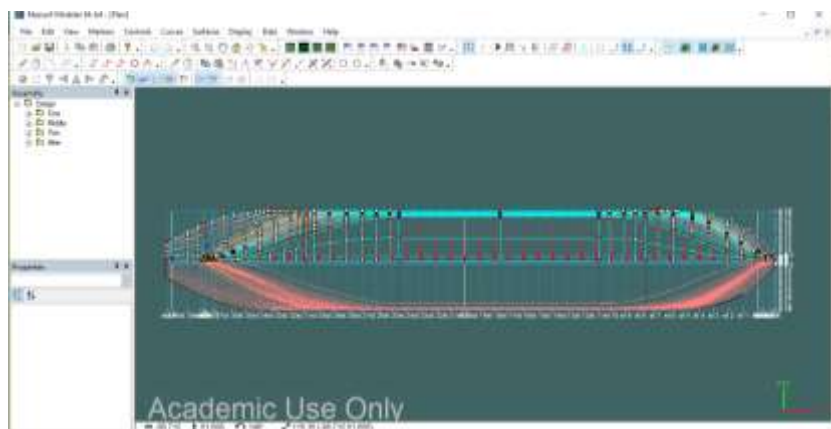
Item	Tanker Draft Condition	
	Full Load	Ballast Load
Length Between Perpendiculars (LPP)	265 m	265 m
Breadth Moulded (B)	49 m	49 m
Depth Moulded (H)	23.5 m	23.5 m
Draft (D)	17 m	7 m
Displacement	185734.90 tonnes	72160.36 tonnes



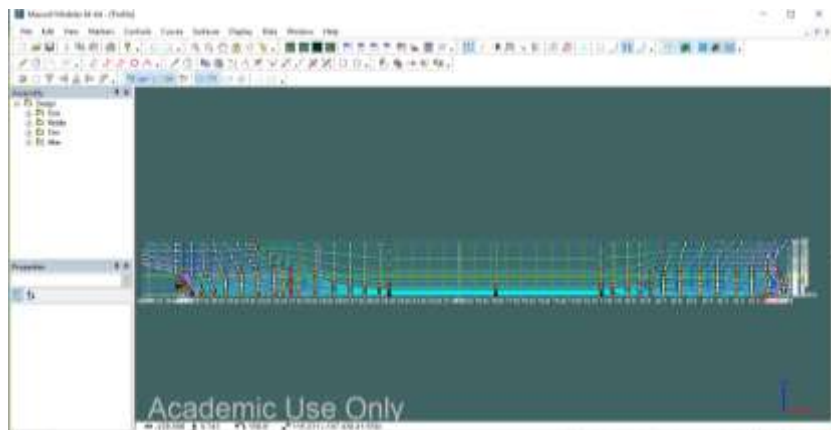
Gambar 4.1 Model tanker tampak isometris



Gambar 4.2 Model tanker tampak depan



Gambar 4.3 Model tanker tampak atas

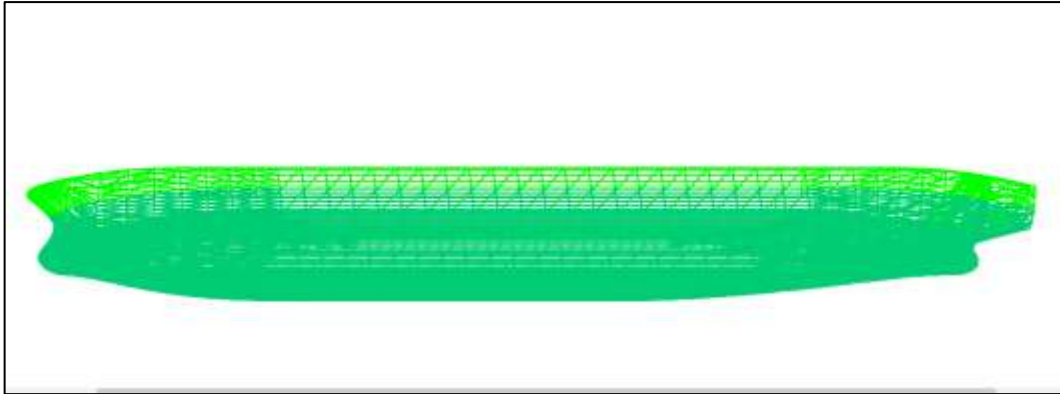


Gambar 4.4 Model tanker tampak samping

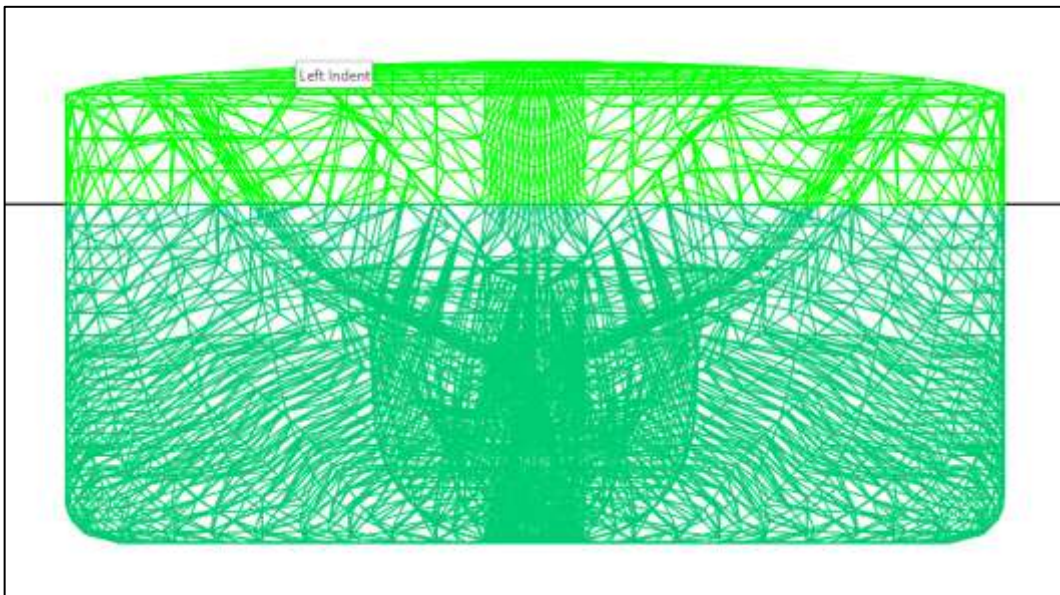
Pemodelan Tanker Menggunakan *Software* Moses

Setelah didapatkan ordinat titik model pada *software* Maxsurf dilakukan *input* ordinat model pada *software* Moses sehingga didapatkan hasil pemodelan tanker pada Moses seperti pada Gambar 4.5 sampai dengan Gambar 4.8. Model pada *software* Moses digunakan untuk perhitungan RAO (*Response Amplitude*

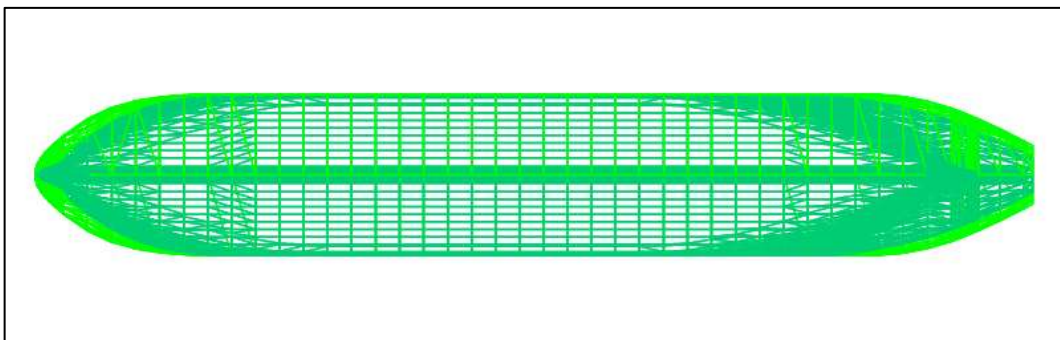
Operator) yaitu amplitudo yang terjadi pada tiap frekuensi untuk 6 mode gerak. Beberapa *input* untuk *software* Orcaflex seperti *wave drift force*, *added mass*, dan *damping force* juga didapatkan dari *output software* Moses.



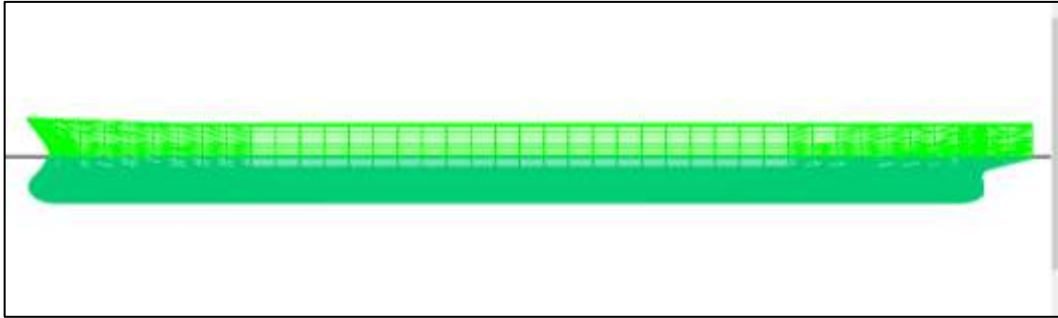
Gambar 4.5 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak isometris



Gambar 4.6 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak depan



Gambar 4.7 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak atas



Gambar 4.8 Hasil pemodelan tanker dengan Moses tampak samping

Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan hidrostatik yang didapatkan dari *software* Maxsurf dan hasil perhitungan hidrostatik yang didapatkan dengan *software* Moses. Validasi model dilakukan berdasarkan kriteria pada *rules* ABS (*American Bureau of Shipping*) pada bagian MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*) seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kriteria pada rule ABS (*American Bureau of Shipping*) pada bagian MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*)

Acceptable Tolerance	
Hull Form Dependent	Acceptable Tolerance
Displacement	2%
Longitudinal center of bouyancy (LCB)	1% / 50 cm max
Vertical center of bouyancy (VCB)	1% / 50 cm max
Transverse center of bouyancy (TCB)	0.5% of B / 5 cm max
Longitudinal center of floatation (LCF)	1% / 50 cm max
Transverse metacentric height (KMt)	1% / 50 cm max
Longitudinal metacentric height (KMI)	1% / 50 cm max
Compartement Dependent	
Volume or deadweight	2%
Longitudinal center of gravity (LCG)	1% / 50 cm max
Vertical center of gravity (VCG)	1% / 5 cm max
Transverse center of gravity (TCG)	0.5% of B / 5 cm max
Free surface moment (FSM)	2%
Level of contents	2%

Karena pemodelan tanker hanya dilakukan pada lambung maka kriteria yang digunakan sebagai acuan adalah kriteria *Hull Form Dependent*, dan data yang akan divalidasi merupakan hasil hidrostatik dari model dengan *software* Maxsurf dan model dengan *software* Moses, sehingga didapatkan validasi model yang

ditampilkan pada Tabel 4.3 untuk kondisi *full load* dan Tabel 4.4 untuk kondisi *ballast load*.

Tabel 4.3 Validasi model pada saat kondisi *full load*

Acceptable Tolerance	Satuan	Data	Maxsurf	Koreksi (%)	Moses	Koreksi (%)
Displacement	t	185734.90	185596.00	0.07	185830.86	0.13
Longitudinal center of bouyancy (LCB)	m	-	-127.48	-	-127.41	0.05
Vertical center of bouyancy (VCB)	m	-	8.85	-	8.85	0.00
Transverse center of bouyancy (TCB)	m	-	0.00	-	0.00	0.00
Longitudinal center of floatation (LCF)	m	-	-133.57	-	-133.85	0.21
Transverse metacentric height (KMT)	m	-	20.67	-	20.68	0.04
Longitudinal metacentric height (KML)	m	-	339.60	-	342.08	0.73

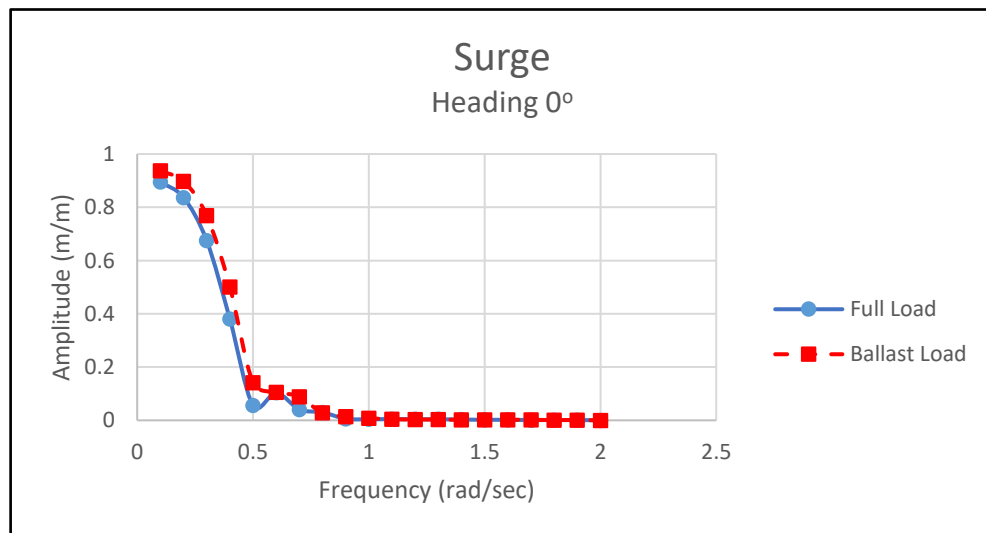
Tabel 4.4 Validasi model pada saat kondisi *ballast load*

Acceptable Tolerance	Satuan	Data	Maxsurf	Koreksi (%)	Moses	Koreksi (%)
Displacement	t	72160.36	71122	1.44	71160.36	0.05
Longitudinal center of bouyancy (LCB)	m	-	-123.253	-	-123.16	0.08
Vertical center of bouyancy (VCB)	m	-	3.603	-	3.61	0.19
Transverse center of bouyancy (TCB)	m	-	0	-	0	0.00
Longitudinal center of floatation (LCF)	m	-	-124.626	-	-124.9	0.22
Transverse metacentric height (KMT)	m	-	30.239	-	30.29	0.17
Longitudinal metacentric height (KML)	m	-	614.265	-	619.67	0.88

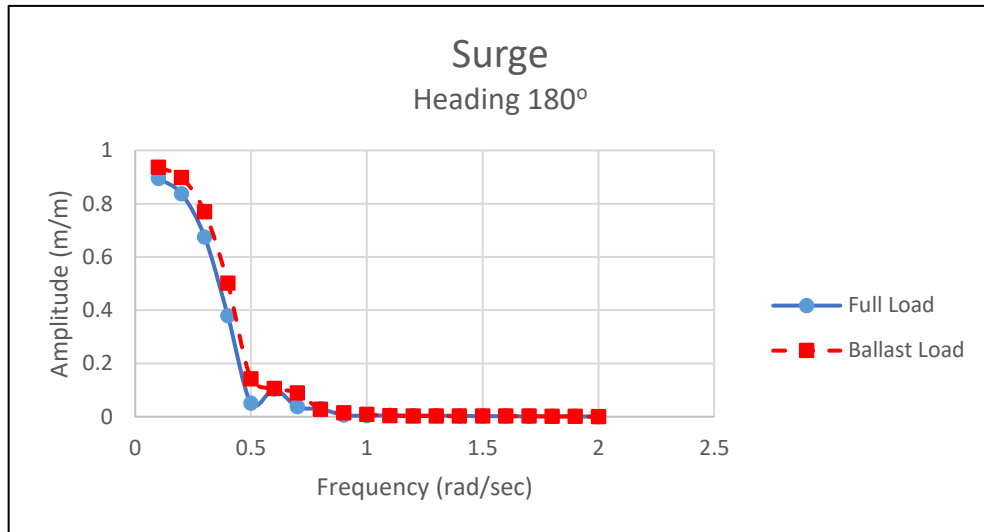
Dari hasil validasi didapatkan hasil koreksi dibawah kriteria yang telah ditentukan oleh *rules ABS (American Bureau of Shipping)* pada bagian MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*) sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil dari kedua model dinyatakan valid.

Analisis Perilaku Gerak Tanker Kondisi Terapung Bebas

RAO (*Response Amplitude Operator*) yang didapatkan merupakan hasil dari pemodelan pada *software Moses* dengan kondisi *tanker* terapung bebas (*free floating*) dan arah pembebanan (*heading*) 0° dan 180° . Respon gerak yang terjadi dibagi menjadi 2, yaitu gerakan translasional dan rotasional. Untuk gerakan translasional gerakan yang terjadi adalah *surge*, *sway*, dan *heave* dengan satuan (m/m), sedangkan gerakan rotasional gerakan yang terjadi adalah *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Pada analisis ini grafik RAO dimulai dari frekuensi gelombang 0,1 rad/sec sampai dengan 2 rad/sec. Dari hasil *output software Moses* disajikan berupa grafik RAO pada Gambar 4.9 sampai 4.16.

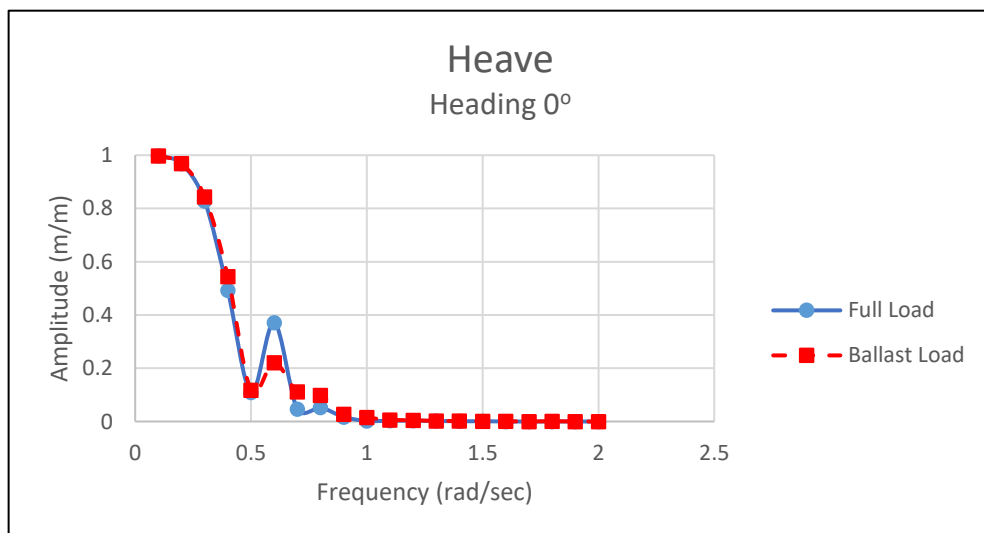


Gambar 4.9 Grafik RAO gerakan surge tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 0°

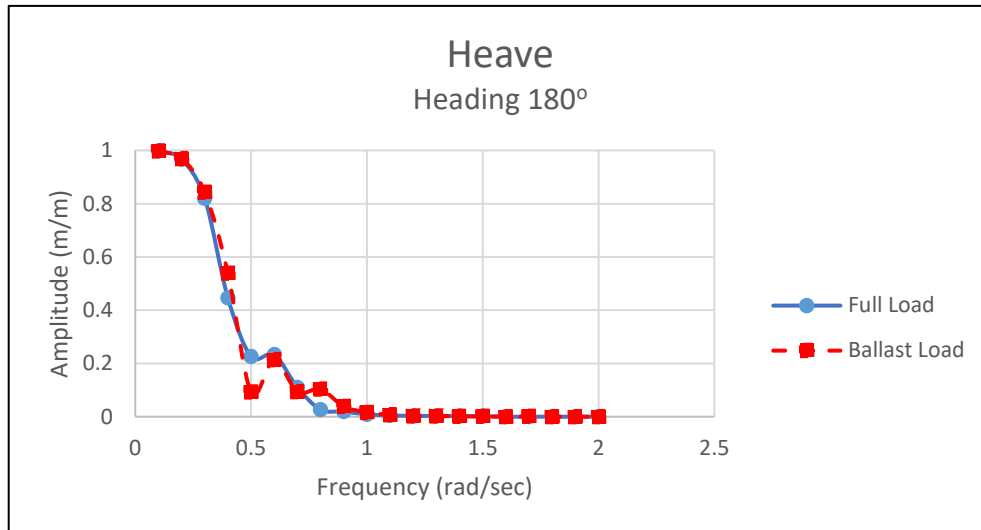


Gambar 4.10 Grafik RAO gerakan surge tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 180°

Dari grafik RAO *surge* dengan *heading* 0° dan *heading* 180° didapatkan nilai yang sama yaitu amplitudo terbesar pada saat tanker keadaan *full load* sebesar 0,895 m/m pada frekuensi 0,1 rad/ sec, sedangkan pada saat *ballast load* amplitudo terbesar adalah 0,937 m/m pada frekuensi 0,1 rad/sec. Gerak *surge* yang terjadi pada frekuensi kecil atau memiliki periode yang besar memiliki panjang gelombang yang terjadi sama dengan panjang benda terapung sehingga dapat mengakibatkan efek *contouring* yaitu benda apung bergerak mengikuti gelombang sehingga mengakibatkan amplitudo yang besar atau mendekati 1.

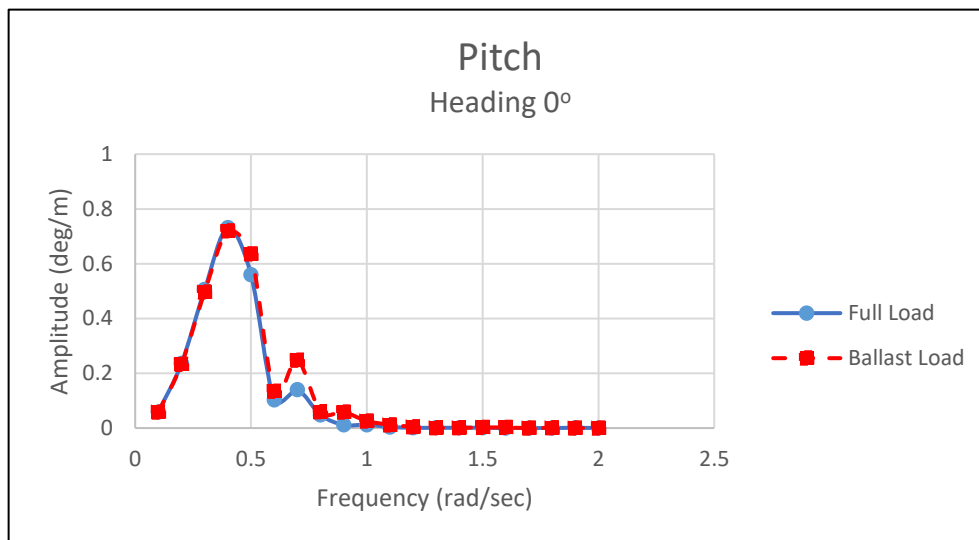


Gambar 4.11 Grafik RAO gerakan heave tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 0°

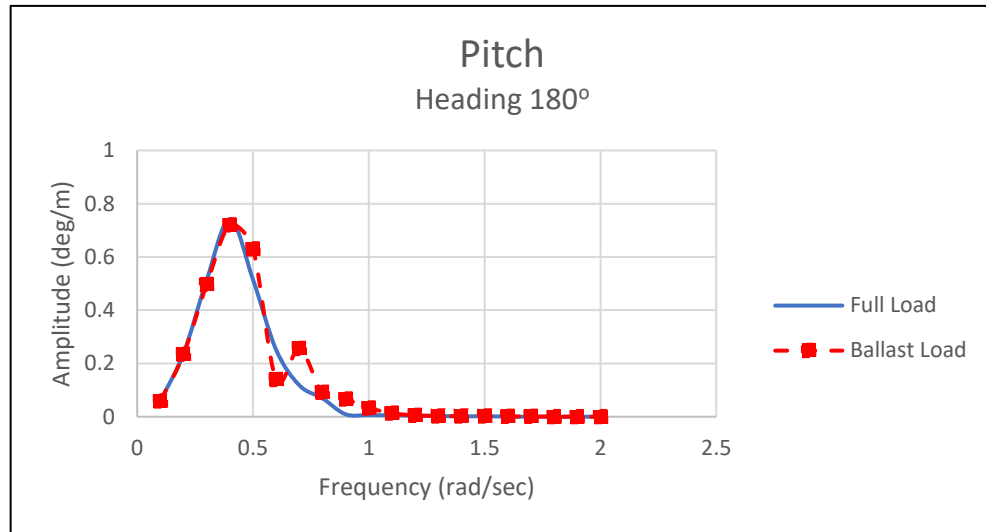


Gambar 4.12 Grafik RAO gerakan heave tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 180°

RAO *heave* dengan *heading* 0° dan 180° pada saat tanker keadaan *full load* dan *ballast load* didapatkan amplitudo maksimum sama yaitu sebesar 0,998 m/m pada frekuensi 0,1 rad/ sec.

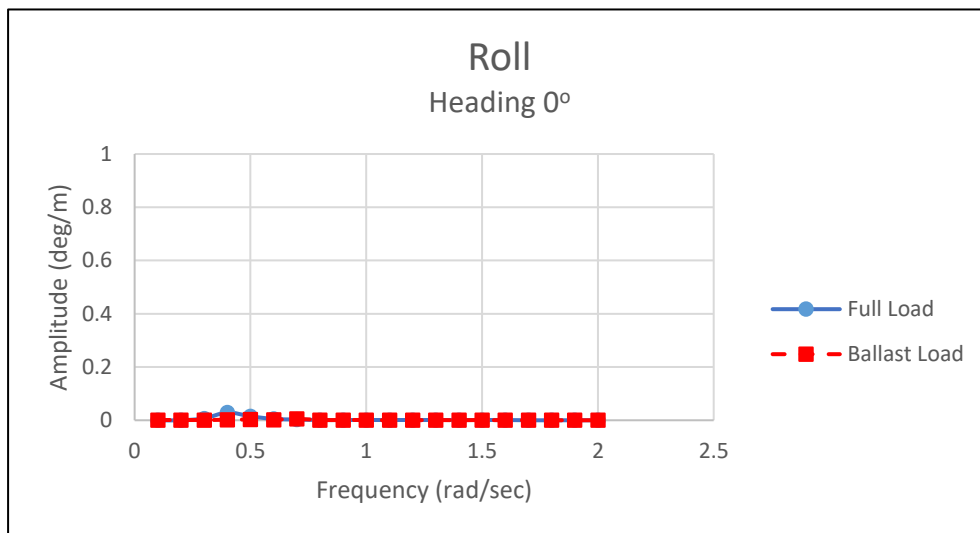


Gambar 4.13 Grafik RAO gerakan pitch tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 0°

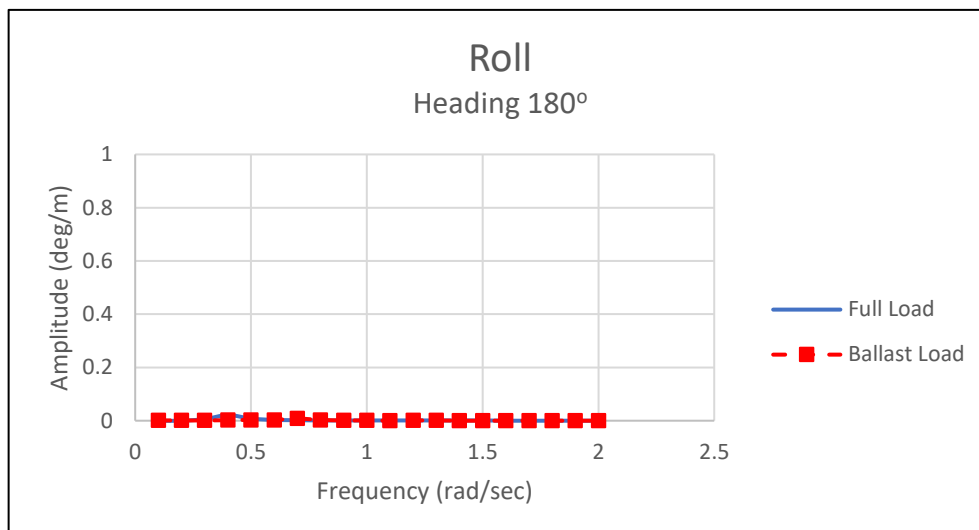


Gambar 4.14 Grafik RAO gerakan pitch tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 180°

Pada RAO *pitch* dengan *heading* 0° didapatkan amplitudo maksimum pada frekuensi 0,4 rad/sec dengan nilai 0.732 deg/m untuk kondisi *full load* dan 0,72 deg/m pada saat kondisi *ballast load*, untuk *heading* 180° didapatkan amplitudo maksimum pada frekuensi 0,4 rad/sec dengan nilai 0,742 deg/m untuk keadaan *full load* dan 0,72 pada keadaan *ballast load*.



Gambar 4.15 Grafik RAO gerakan roll tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 0°



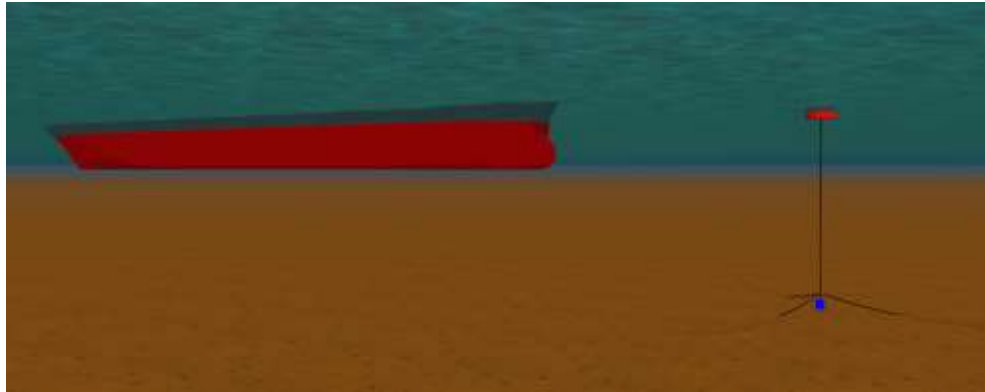
Gambar 4.16 Grafik RAO gerakan roll tanker kondisi terapung bebas dengan *heading* 180°

Berdasarkan grafik RAO untuk gerakan *roll* terjadi sangat kecil yaitu hanya terjadi ketika *tanker* keadaan *full load* sebesar 0,029 deg/m untuk *heading* 0° dan 0,021 deg/m untuk *heading* 180° ini dapat terjadi karena arah pembebanan yang digunakan hanya 0° dan 180° dengan alasan *mooring system* ini memiliki kemampuan *weathervaning* sehingga hanya didapatkan RAO pada mode gerak *surge*, *heave*, dan *pitch* sedangkan mode gerak *roll* nilainya sangat kecil sekali bahkan pada mode gerak *yaw* dan *sway* amplitudo yang terjadi bernilai 0 pada tiap frekuensinya. Pada kedalaman yang berbeda hasil RAO yang dihasilkan akan berbeda hal tersebut diakibatkan adanya perbedaan distribusi gelombang dan fungsi kedalaman pada gaya eksitasi yang berbeda-beda untuk perairan dangkal, menengah, dan dalam. Selain kedalaman pasang surut dapat menghasilkan perubahan RAO namun tidak signifikan karena perbedaan kedalaman yang terjadi sangatlah kecil.

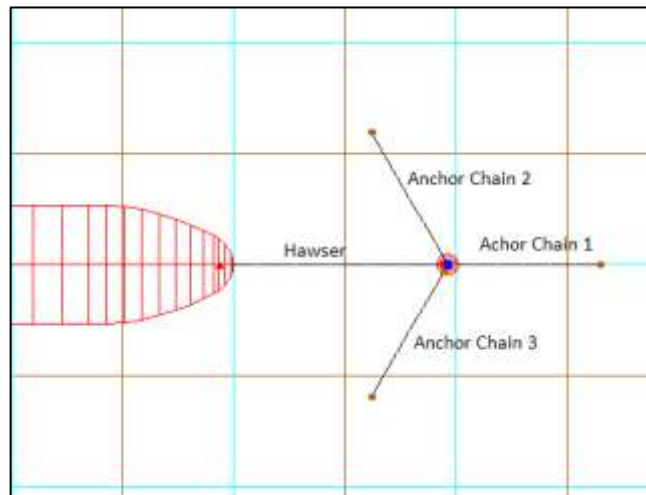
Pemodelan Konfigurasi *Multi leg anchor mooring* Pada Software Orcaflex.

Sebelum dilakukan analisis dinamis untuk menemukan *tension* maksimum dilakukan pemodelan pada *software* Orcaflex sesuai dengan konfigurasi *multi leg anchor mooring* sesuai data. *Input* data yang dilakukan adalah *input* data tanker, panjang *mooring line* dan koordinat-koordinat penting seperti letak tanker, *buoy*,

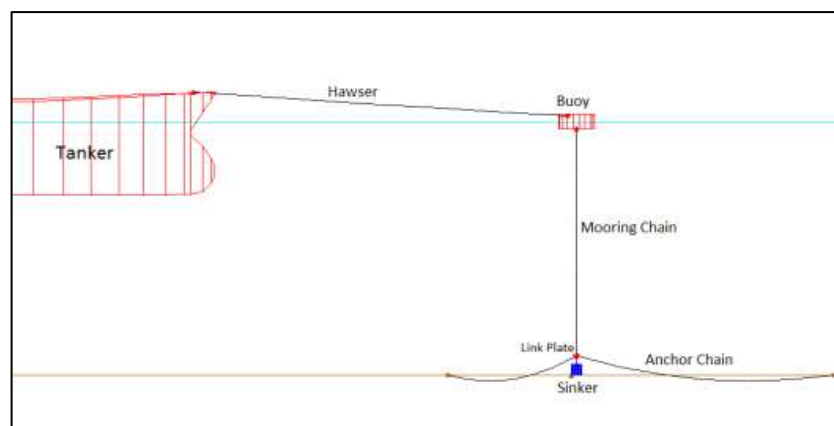
dan *anchor*. Pada Gambar 4.17 hingga 4.19 adalah hasil pemodelan konfigurasi *multi leg anchor mooring* pada *software* Orcaflex .



Gambar 4.17 Tampilan graphics mode pada *software* Orcaflex



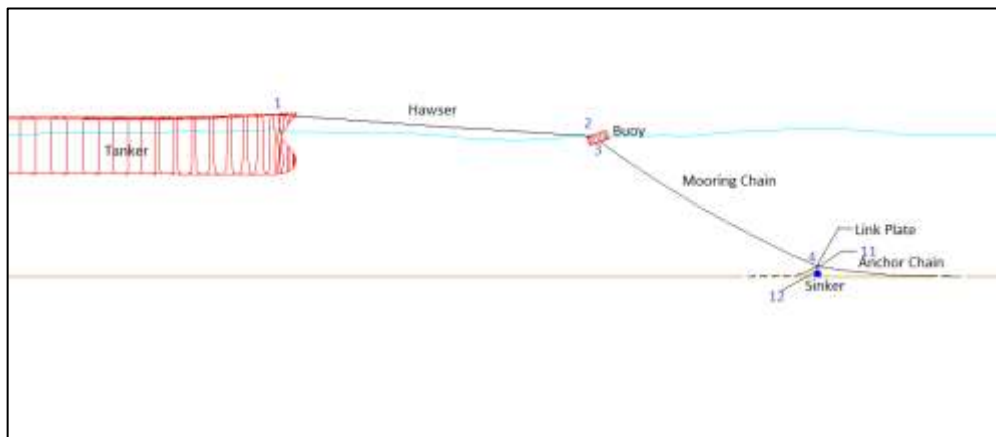
Gambar 4.18 Tampak atas konfigurasi *multi leg anchor mooring*



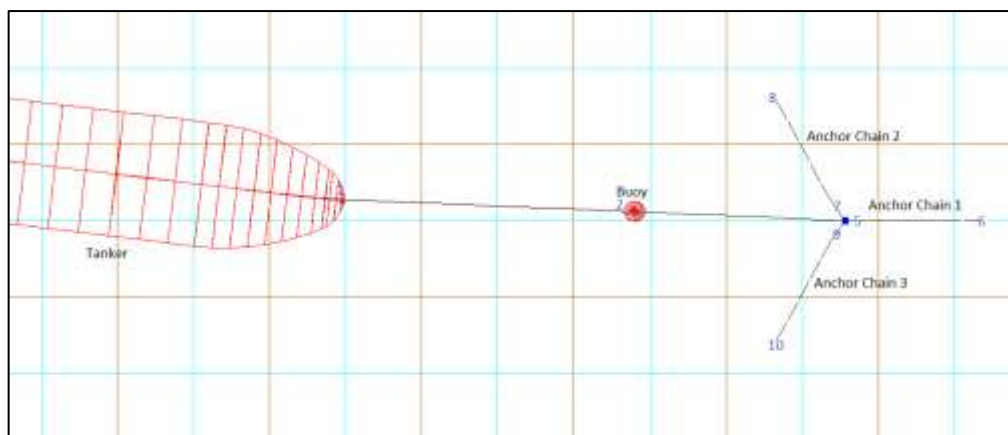
Gambar 4.19 Tampak samping konfigurasi *multi leg anchor mooring*

Analisis *Tension* Maksimum Pada *Mooring Line*

Analisis *tension* maksimum pada *mooring line* dilakukan untuk mendapatkan nilai *tension* maksimum pada tiap ujung *line*. Hasil dari *tension* maksimum akan digunakan dalam analisis kekuatan lokal pada *link plate* menggunakan *software* ANSYS Mechanical. Analisis yang digunakan merupakan analisis dinamis dengan metode *time domain* selama 10800 detik dengan beban gelombang, arus, dan angin untuk perairan selat bangka. Pada hasil analisis didapatkan 2 hasil yaitu pada *tanker* kondisi *full load* dan *ballast load*. Pada Gambar 4.20 dan 4.21 merupakan hasil simulasi pada kondisi *full load*. Untuk nilai *tension* maksimum pada tiap ujung *mooring line* disajikan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.20 Tampak samping hasil simulasi kondisi *tanker full load*



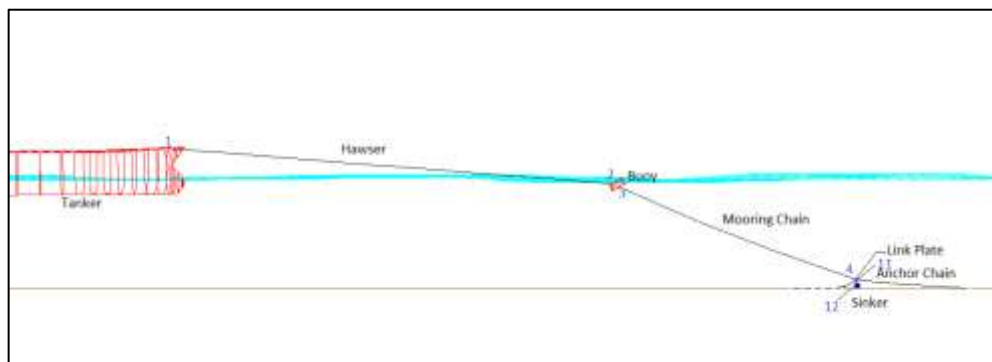
Gambar 4.21 Tampak atas hasil simulasi kondisi *tanker full load*

Tabel 4.5 Hasil *tension* tiap *mooring line* keadaan *full load*

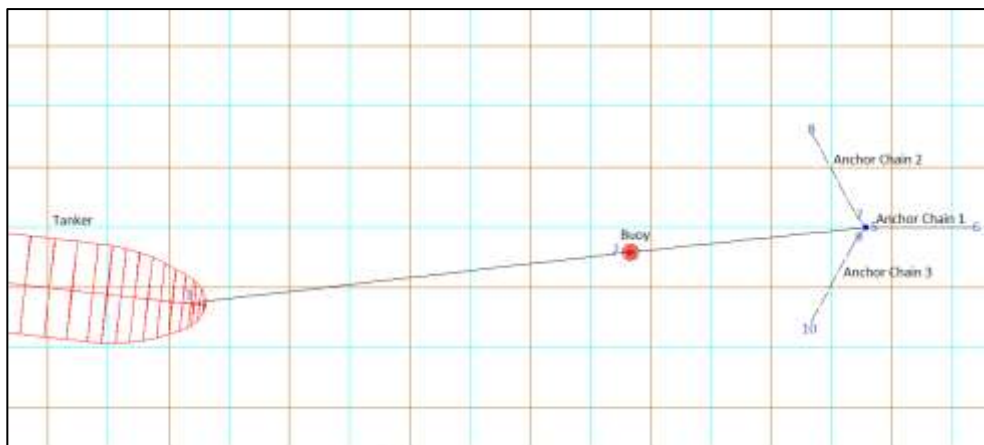
Location	Line	End Tension (kN)
1	Hawser	1389.36
2		1389.51

Location	Line	End Tension (kN)
3	Mooring Chain	3202.12
4		3159.29
5	Anchor Chain 1	2700.79
6		2698.23
7	Anchor Chain 2	128.89
8		120.21
9	Anchor Chain 3	136.24
10		127.94
11	Sinker Chain	1918.11
12		1901.60

Untuk hasil simulasi pada kondisi *ballast load* ditampilkan pada Gambar 4.22 dan 4.23 merupakan hasil simulasi pada kondisi *full load*. Hasil nilai *tension* maksimum pada tiap ujung *mooring line* disajikan pada Tabel 4.6.



Gambar 4.22 Tampak samping hasil simulasi kondisi *tanker ballast load*



Gambar 4.23 Tampak atas hasil simulasi kondisi *tanker ballast load*

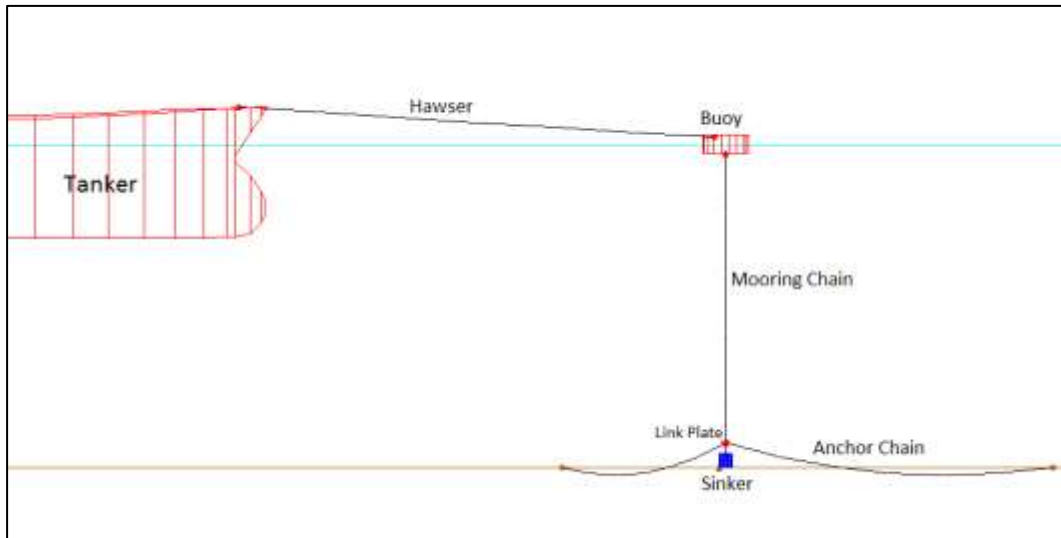
Tabel 4.6 Hasil *tension* tiap *mooring line* keadaan *ballast load*

Location	Line	End Tension (kN)
1	Hawser	1320.15
2		1320.14
3	Mooring Chain	3173.41
4		3118.50
5	Anchor Chain 1	2689.95
6		2689.95
7	Anchor Chain 2	160.06
8		153.07
9	Anchor Chain 3	269.04
10		260.37
11	Sinker Chain 4	1796.10
12		1778.88

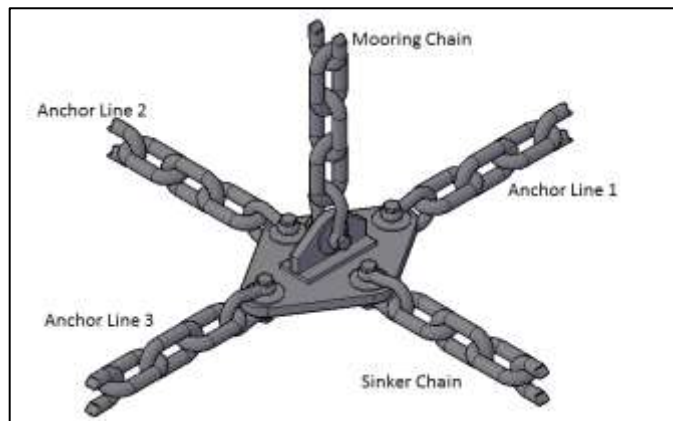
Dari hasil simulasi selama 3 jam (10800 detik) didapatkan *tension* pada tiap *mooring line* pada keadaan *full load* maupun *ballast load*, dari hasil tersebut didapatkan *tension* terbesar terjadi pada *mooring chain* pada saat kondisi *full load* yaitu sebesar 3202.12. Untuk melakukan analisis selanjutnya hanya beberapa *tension* yang digunakan karena disesuaikan dengan letak *tension*nya. Pada hasil tersebut hanya lokasi 4, 5, 7, 9, dan 11 yang tersambung pada link plate sehingga dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Pada tugas akhir ini digunakan *tension* maksimum saja sehingga hanya digunakan *tension* dari *tanker* kondisi *full load*.

Pemodelan Konstruksi *Link Plate*

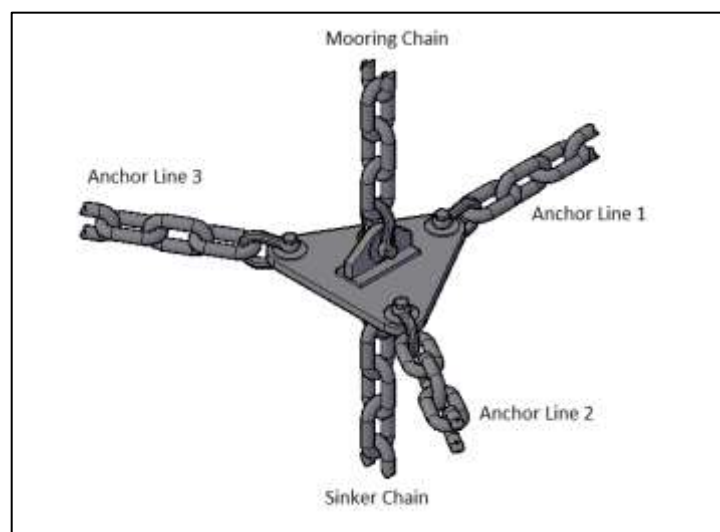
Pemodelan konstruksi *link plate* dilakukan dengan menggunakan *software* Solidworks. Pada pemodelan link plate dimodelkan juga lubang dan *padeye* untuk *shackle* beserta lasan sehingga ketika dilakukan analisis dapat diketahui tegangan yang terjadi di area sambungan. Pada tugas akhir ini dilakukan 2 pemodelan yaitu model 1 dengan 4 lubang pada pelat utama dan 1 *padeye*, sedangkan untuk model 2 memiliki 3 lubang dan 2 *padeye*. Dengan mempertimbangkan posisi *link plate* pada konfigurasi *multi leg anchor mooring* seperti pada Gambar 4.24. Maka didapatkan gambaran desain *link plate* untuk model 1 seperti pada Gambar 4.25, dan untuk model 2 pada Gambar 4.26.



Gambar 4.24 Posisi *link plate* pada sistem tambat MLAM

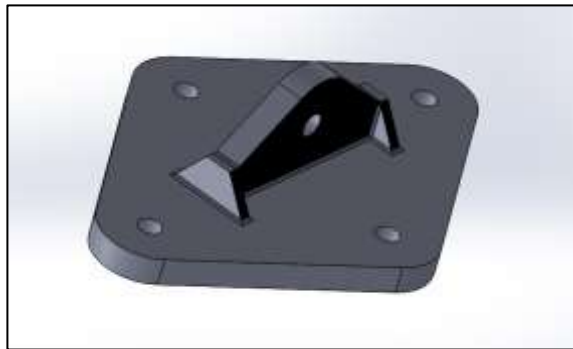


Gambar 4.25 Desain *link plate* model 1 (4 lubang dan 1 *padeye*)



Gambar 4.26 Desain *link plate* model 2 (3 lubang dan 2 *padeye*)

Dengan dasar desain *link plate* 2 model seperti pada Gambar 4.25 dan 4.26, dilakukan pemodelan menggunakan *software* Solidworks, pada tugas akhir ini dilakukan pemodelan dengan *software* Solidworks karena mempertimbangkan model yang dihasilkan berupa model *solid* sehingga mempermudah pada saat analisis tegangan lokal menggunakan *software* ANSYS. Dari pemodelan yang dilakukan didapatkan model *solid* seperti pada Gambar 4.27. untuk model 1 dan Gambar 4.28 untuk *link plate* model 2



Gambar 4.27 Hasil model 1 pada *software* Solidworks



Gambar 4.28 Hasil model 2 pada *software* Solidworks

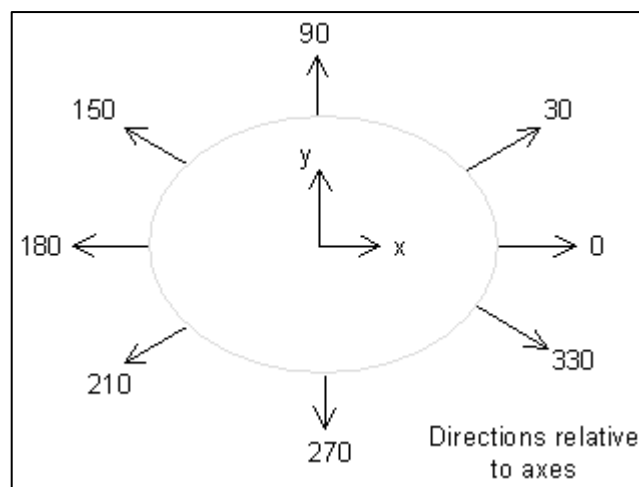
Berdasarkan 2 model tersebut didapatkan ukuran-ukuran utama kedua model yaitu sebagai berikut :

Model	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Berat (kg)
1	1,75	1,25	0,5	1178,2
2	1,75	1,56	0,85	1697,2

Setelah dilakukan pemodelan dilakukan pemilihan material pada tugas akhir ini digunakan material ASTM A572 Steel Grade 50 yaitu material dengan sifat *high tensile, low-alloy* yang memiliki *yield stress* sebesar 345 Mpa.

Pembebanan Gaya pada Software ANSYS

Gaya-gaya yang diinput pada software ANSYS merupakan hasil *tension* dari *software* Orcaflex. Dalam tugas akhir ini hanya digunakan *tension* yang terjadi pada *link plate* saja dan digunakan resultan vektor gaya sesuai dengan hasil analisis pada simulasi Orcaflex yaitu berupa *tension* maksimum dan sudut *mooring line*, untuk sudut hasil simulasi digunakan hasil sudut azimuth dan declination. Pada *software* Orcaflex azimuth merupakan sudut pada bidang x-y yang memiliki acuan seperti pada Gambar 4.29, sedangkan declination merupakan sudut yang terjadi terhadap sumbu-z yang memiliki acuan 0° untuk arah-z positif, 90° untuk arah pada bidang x-y, dan 180° untuk arah-z negatif.



Gambar 4.29 Acuan sudut azimuth pada *software* Orcaflex

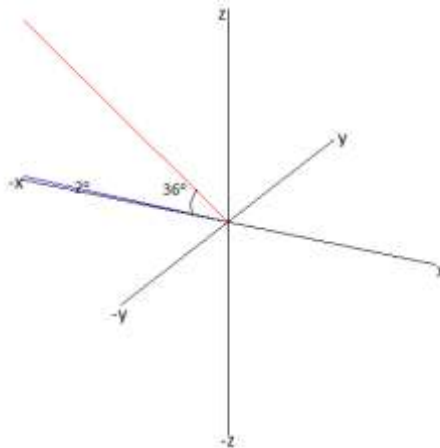
Pada *software* Orcaflex didapatkan hasil sudut setiap *mooring line* dalam kondisi *full load* yang digunakan pada pembebanan pada *link plate* ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil sudut tiap *mooring line*

Line	Azimuth (deg)	Declination (deg)
Mooring Chain	357,6	125,8
Anchor Chain 1	359,9	100,4
Anchor Chain 2	127,8	117,9
Anchor Chain 3	233,5	115,7
Sinker Chain	352,4	174,5

Berdasarkan hasil tersebut dapat dihitung besar gaya-gaya yang terjadi dengan cara sebagai berikut :

Mooring Chain



$$F = 3159,29 \text{ kN}$$

$$F_z = F \sin 36^\circ$$

$$F_z = 1856,98 \text{ kN}$$

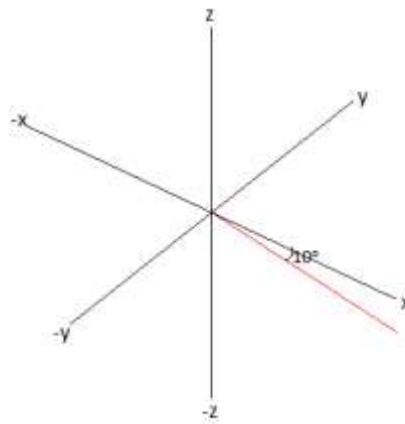
$$F_x = -F \cos 2^\circ \cos 36^\circ$$

$$F_x = -2554,36 \text{ kN}$$

$$F_y = F \sin 2^\circ \cos 36^\circ$$

$$F_y = 89,2 \text{ kN}$$

Anchor Chain 1



$$F = 2700,79 \text{ kN}$$

$$F_z = -F \sin 10^\circ$$

$$F_z = -468,99 \text{ kN}$$

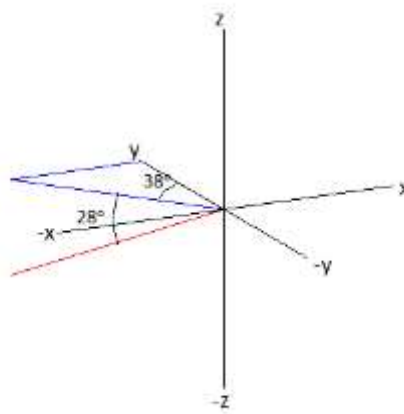
$$F_x = F \cos 0^\circ \cos 10^\circ$$

$$F_x = 2659,76 \text{ kN}$$

$$F_y = F \sin 0^\circ \cos 10^\circ$$

$$F_y = 0$$

Anchor Chain 2



$$F = 128,89 \text{ kN}$$

$$F_z = -F \sin 28^\circ$$

$$F_z = -60,51 \text{ kN}$$

$$F_x = -F \sin 38^\circ \cos 28^\circ$$

$$F_x = -70,06 \text{ kN}$$

$$F_y = F \cos 38^\circ \cos 28^\circ$$

$$F_y = 89,68 \text{ kN}$$

Anchor Chain 3

$$F = 136,24 \text{ kN}$$

$$F_z = -F \sin 26^\circ$$

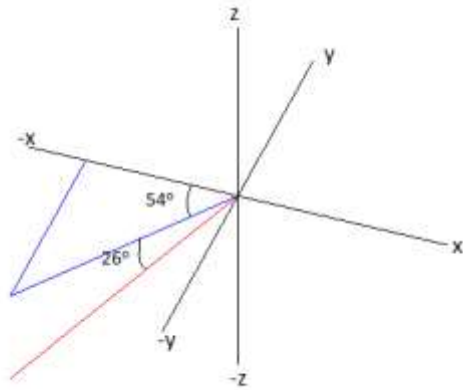
$$F_z = -59,72 \text{ kN}$$

$$F_x = -F \cos 54^\circ \cos 26^\circ$$

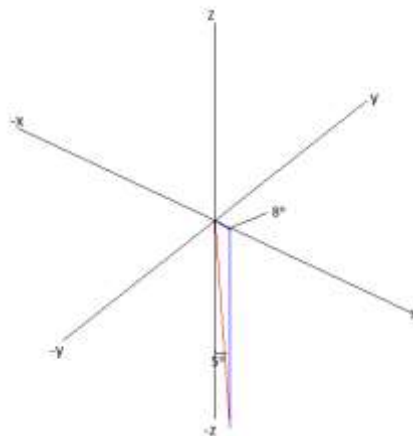
$$F_x = -71,97 \text{ kN}$$

$$F_y = -F \sin 54^\circ \cos 26^\circ$$

$$F_y = -99,06 \text{ kN}$$



Sinker Chain



$$F = 1918,11 \text{ kN}$$

$$F_z = -F \cos 5^\circ$$

$$F_z = -1910,81 \text{ kN}$$

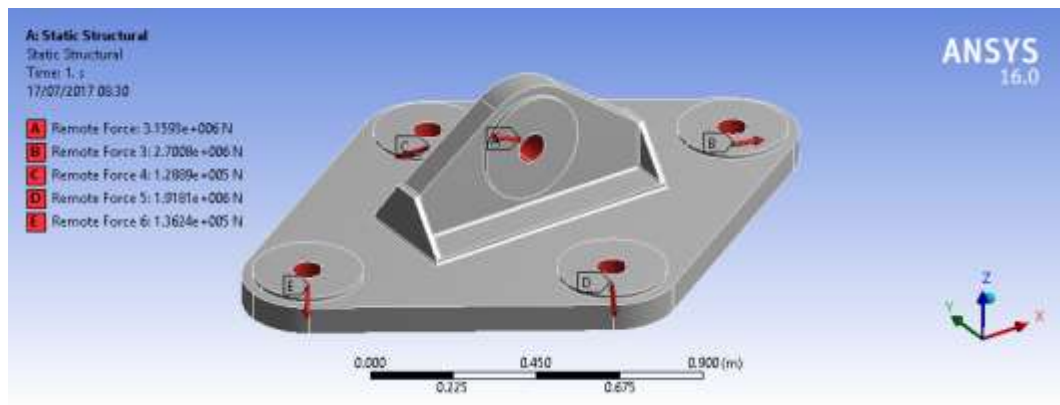
$$F_x = F \cos 8^\circ \sin 5^\circ$$

$$F_x = 165,55 \text{ kN}$$

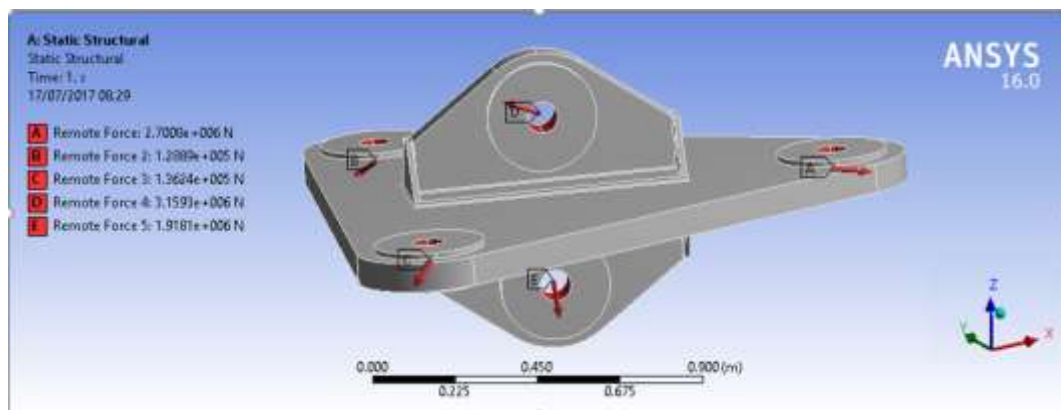
$$F_y = -F \sin 8^\circ \sin 5^\circ$$

$$F_y = -23,27 \text{ kN}$$

Berdasarkan hasil F_x , F_y , dan F_z diatas digunakan sebagai input gaya yang terjadi pada tiap lubang *shackle* sehingga dapat diasumsikan bahwa beban yang diinput merupakan gambaran rantai yang menarik struktur *link plate*. Hasil dari input gaya tersebut ditampilkan pada Gambar 4.30 untuk pembebanan pada model 1 dan Gambar 4.31 untuk pembebanan pada model 2.



Gambar 4.30 Input pembebanan pada model 1

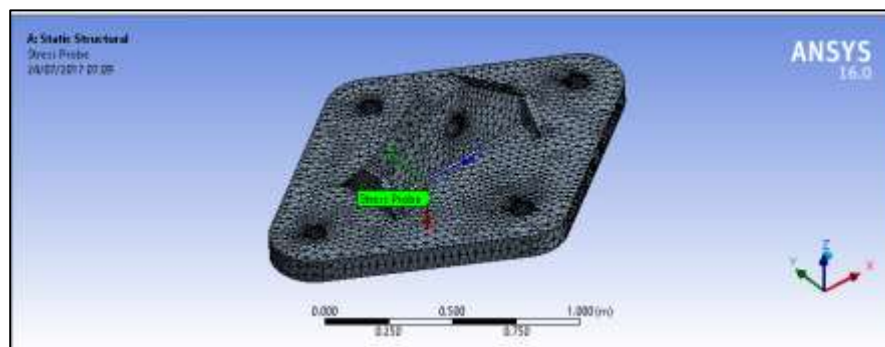


Gambar 4.31 Input pembebanan pada model 2

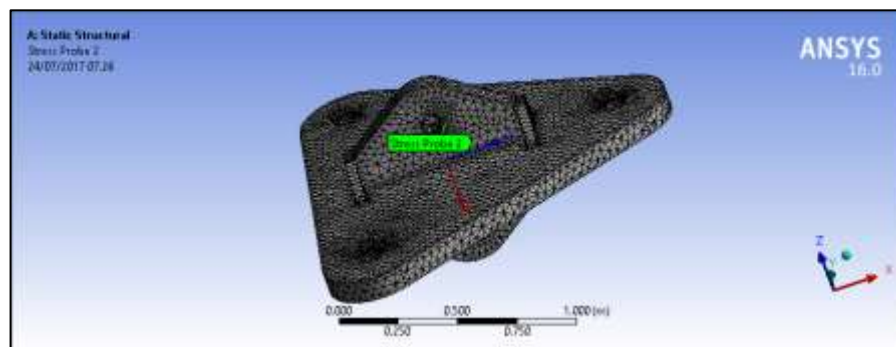
Meshing dan Sensitivity

Setelah pemodelan diberi beban-beban, analisis selanjutnya adalah melakukan *meshing*. *Meshing* adalah membagi model struktur yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil yang saling berhubungan untuk mendapatkan distribusi tegangan. Ukuran *meshing* juga berpengaruh dalam hasil tegangan yang terjadi, semakin kecil ukuran *meshing* maka hasil yang didapatkan juga semakin teliti karena terbagi menjadi elemen yang banyak namun juga diperlukan hasil yang konsisten.

Untuk mendapatkan hasil yang konsisten dilakukan *meshing sensitivity* yaitu melalui perbandingan hasil tegangan. Uji *sensitivity* dilakukan dengan cara memvariasikan ukuran elemen *meshing* yang selanjutnya ditentukan salah satu titik dimana akan digunakan sebagai acuan perbandingan hasil *equivalent stress* atau *von mises stress*, pada tugas akhir ini titik acuan ditampilkan pada Gambar . Ukuran yang akan digunakan merupakan ukuran yang memiliki nilai *von mises stress* konstan dengan hasil dari ukuran yang lebih kecil atau lebih besar dari ukuran tersebut.



Gambar 4.32 Letak titik acuan pada model 1

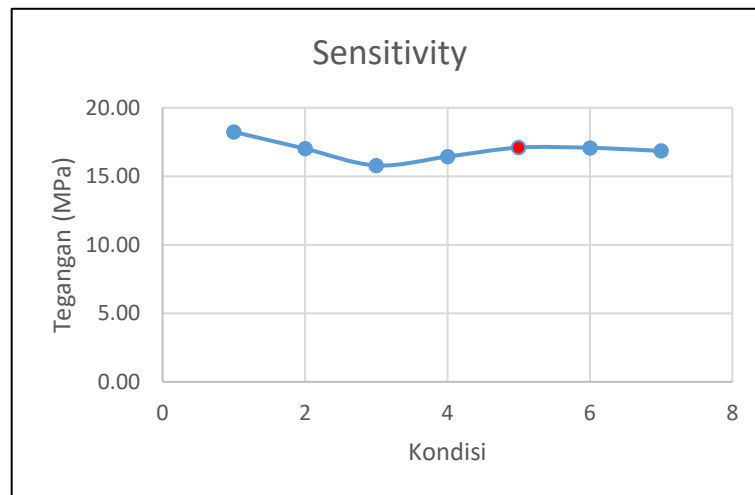


Gambar 4.33 Letak titik acuan pada model 2

Berdasarkan variasi ukuran *meshing* didapatkan tabulasi antara ukuran *meshing* dengan tegangan yang terjadi di titik acuan untuk model 1 Gambar 4.32 *meshing* dan *sensitivity* dijelaskan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.34. Sedangkan pada model 2 dengan titik acuan seperti Gambar 4.33 hasil tabulasi didapatkan seperti pada Tabel 4.9 dan ditampilkan berupa grafik pada Gambar 4.35.

Tabel 4.8 Hasil tabulasi *meshing sensitivity* model 1

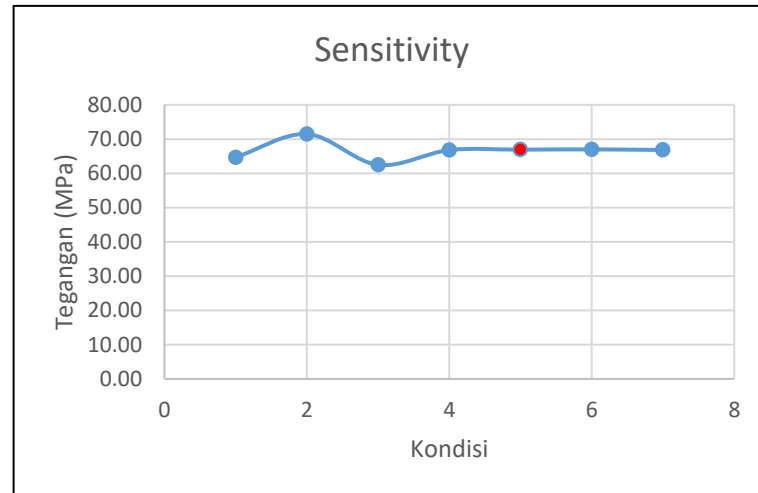
Kondisi	Ukuran Meshing (mm)	Elemen	Tegangan (Mpa)
1	24	20602	18.23
2	23	21651	17.01
3	22	22734	15.79
4	21	24190	16.43
5	20	26555	17.09
6	19	28539	17.08
7	18	32732	16.85



Gambar 4.34 Grafik *meshing sensitivity* pada model 1

Tabel 4.9 Hasil tabulasi *meshing sensitivity* model 2

Kondisi	Ukuran Meshing (mm)	Elemen	Tegangan (Mpa)
1	22	31050	64.70
2	21	32377	71.46
3	20	37667	62.47
4	19	40128	66.80
5	18	45034	66.92
6	17	49337	67.00
7	16	53473	66.82

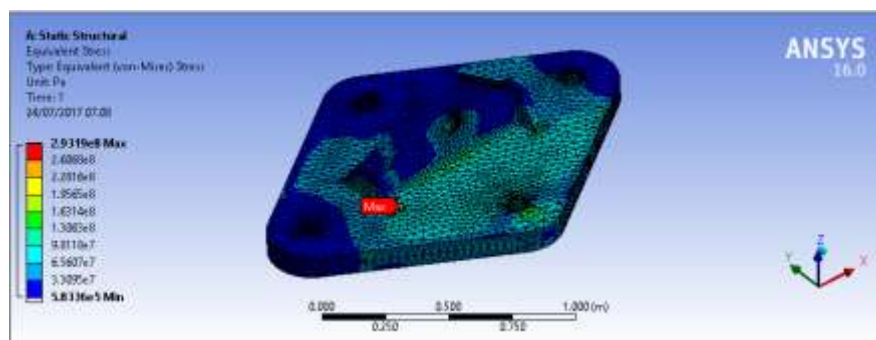


Gambar 4.35 Grafik *meshing sensitivity* pada model 2

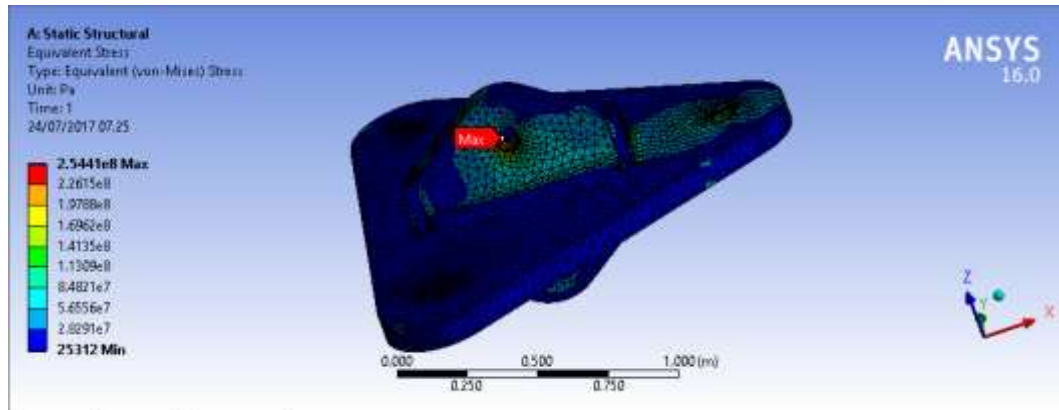
Berdasarkan hasil *meshing sensitivity* didapatkan hasil yang konsisten pada ukuran *meshing* 20 mm untuk model 1 dan 18 mm untuk model 2 sehingga 2 ukuran *meshing* tersebut yang akan digunakan untuk analisis tegangan lokal.

Analisis Tegangan Lokal Struktur *Link Plate*

Analisis tegangan lokal yang terjadi pada *link plate* dilakukan dengan menggunakan ukuran *meshing* sesuai hasil *meshing sensitivity*, yaitu untuk model 1 dengan ukuran 20 mm dan model 2 dengan ukuran 18 mm. Selain itu ditentukan letak *support* pada struktur hal ini wajib dilakukan sebagai *boundary condition*, pada analisis ini digunakan tumpuan jenis pin atau engsel hal tersebut dipilih agar tetap terjadi momen pada struktur tersebut. Setelah melakukan peletakan tumpuan dilakukan *solving* untuk mendapatkan tegangan *von mises* maksimum pada 2 model yang akan dianalisis, dan diketahui letak tegangan *von mises* maksimumnya. Berdasarkan hasil *solving* didapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.36 Letak tegangan *von mises* maksimum pada model 1

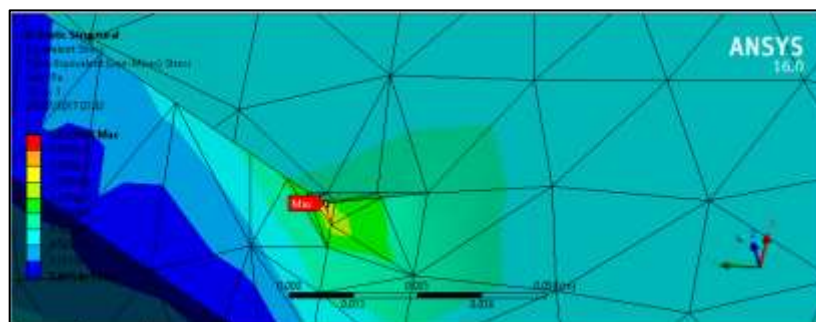


Gambar 4.37 Letak tegangan *von misses* maksimum pada model 2

Berdasarkan hasil analisis tegangan *von misses* maksimum didapatkan nilai tegangan *von misses* maksimum sebesar 293,19 Mpa pada model 1 terjadi pada sambungan las seperti pada Gambar 4.36. Untuk model 2 didapatkan tegangan *von misses* maksimum sebesar 254,41 Mpa pada ujung lubang *mooring chain* seperti Gambar 4.37. Menurut ABS “*Safehull-Dynamic Loading Approach for Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Systems*” struktur dapat dikatakan aman apabila tegangan yang terjadi tidak melebihi 90% *yield stress* material. Dengan *yield stress* material 345 Mpa maka didapatkan batas *yield stress* sebesar 310,5 Mpa, maka dari hasil tegangan *von misses* kedua model masih dalam batas aman.

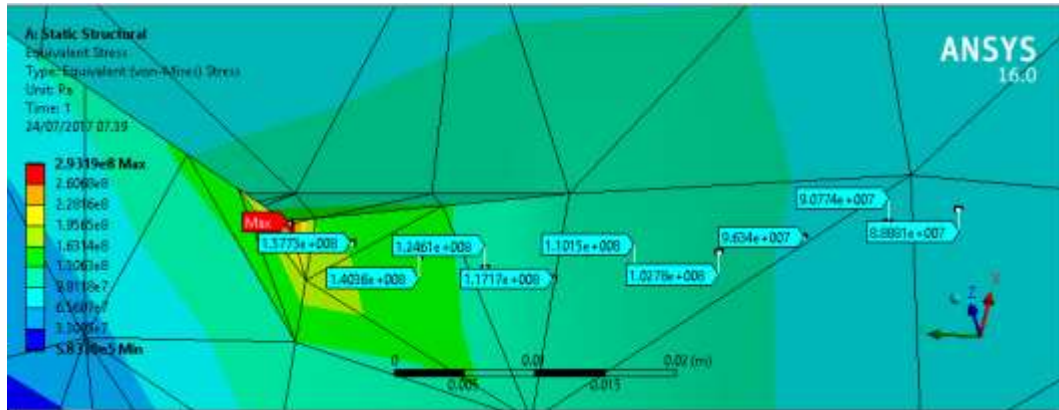
Analisis Distribusi Tegangan Sekitar Tegangan Maksimum

Dari hasil tegangan maksimum dilakukan analisis distribusi tegangan disekitar titik maksimum dengan jarak 5 mm, pada analisis ini digunakan 10 titik sebagai acuan yaitu pada titik maksimum, jarak 5 mm hingga 45 mm. Pada model 1 analisis dilakukan pada titik tegangan maksimum yang terjadi pada sambungan las seperti pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Letak tegangan maksimum pada model 1

Dari titik tersebut dilakukan pembesaran untuk mengetahui tegangan yang terjadi dengan menggunakan bantuan *probe stress*. Pada analisis ini dibagi menjadi 10 titik pembagian yang ditampilkan pada Gambar 4.39.

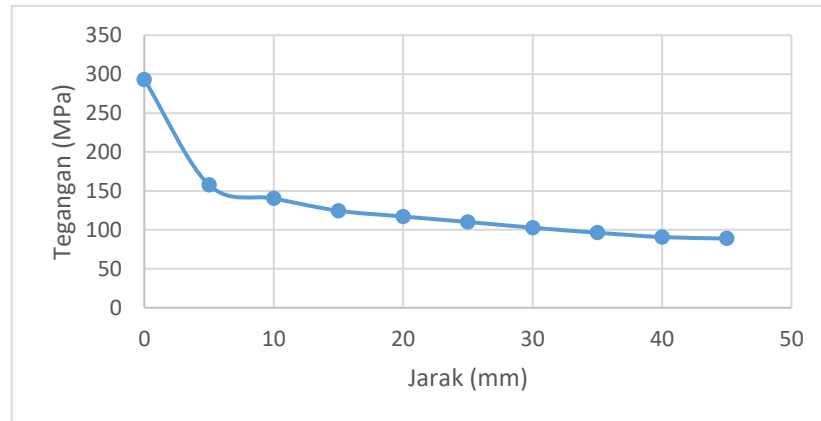


Gambar 4.39 Titik acuan pada peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 1

Dari titik tersebut didapatkan nilai tegangan pada titik malsimum. jarak 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 45 mm, selanjutnya dilakukan tabulasi peningkatan tegangan dari jarak tersebut seperti pada tabel 4.10. dan dihasilkan grafik peningkatan tegangan sekitar titik tegangan maksimum Gambar 4.40.

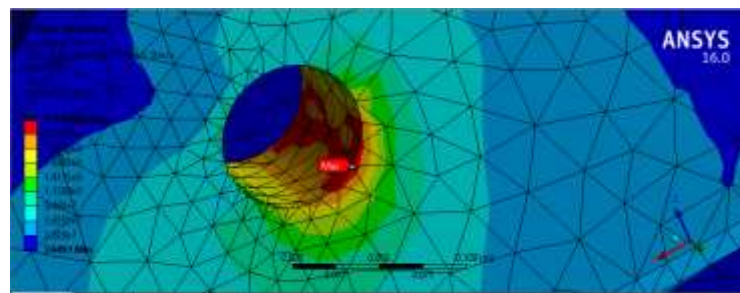
Tabel 4.10 Tabulasi peningkatan tegangan dengan jarak 2 mm pada model 1

Jarak (mm)	Tegangan (Mpa)	Selisih (Mpa)	Prosentase
0	293.19	0	0
5	157.73	135.46	46.20%
10	140.36	17.37	11.01%
15	124.61	15.75	11.22%
20	117.17	7.44	5.97%
25	110.15	7.02	5.99%
30	102.78	7.37	6.69%
35	96.34	6.44	6.27%
40	90.77	5.57	5.78%
45	88.88	1.89	2.08%



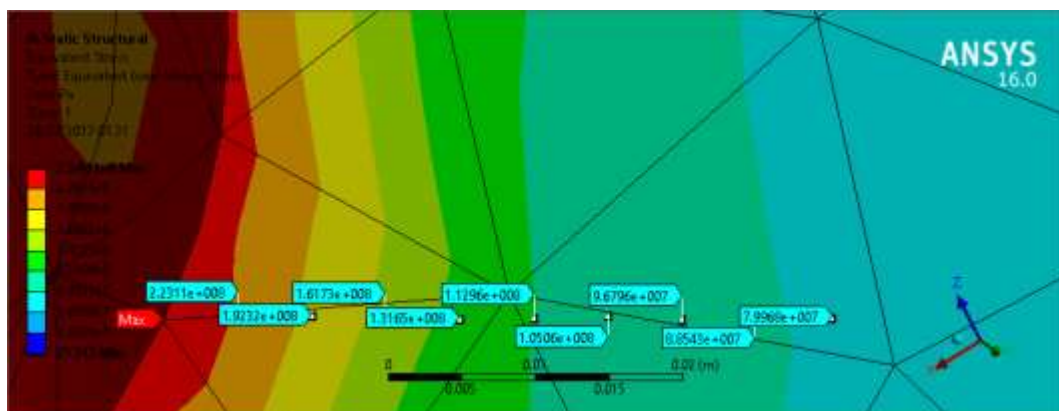
Gambar 4.40 Grafik peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 1

Pada model 2 dilakukan analisis distribusi tegangan juga berbeda dengan model 1, pada model 2 titik dengan tegangan maksimum terjadi pada ujung lubang *padeye* atas seperti pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41 Letak tegangan maksimum pada model 2

Dari titik tersebut dilakukan analisis dengan acuan dari titik dengan tegangan maksimum ke arah pelat utama dengan jarak antar titik 5 mm, dengan bantuan *probe stress* maka diketahui tegangan seperti pada Gambar 4.42.

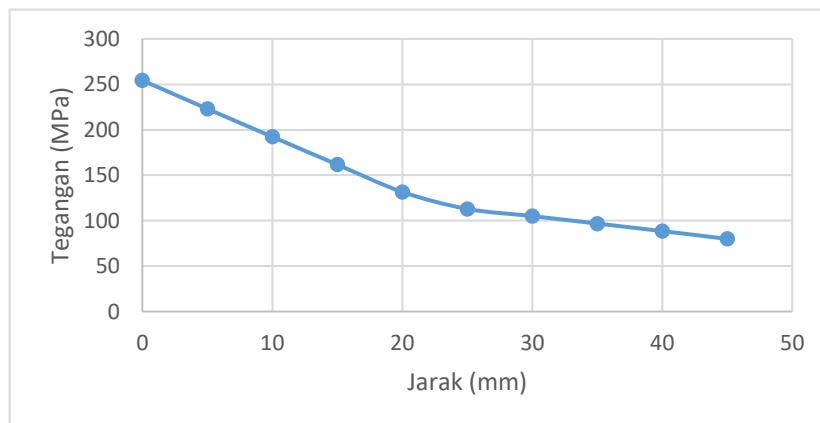


Gambar 4.42 Titik acuan pada peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2

Dari hasil tersebut dilakukan tabulasi peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm seperti pada Tabel 4.11, dari hasil tabulasi tersebut digambarkan berupa grafik peningkatan tegangan seperti pada Gambar 4.43.

Tabel 4.11 Tabulasi peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2

Jarak (mm)	Tegangan (Mpa)	Selisih (Mpa)	Prosentase
0	254.41	0	0
5	223.11	31.3	12.30%
10	192.32	30.79	13.80%
15	161.73	30.59	15.91%
20	131.65	30.08	18.60%
25	112.96	18.69	14.20%
30	105.06	7.9	6.99%
35	96.79	8.27	7.87%
40	88.54	8.25	8.52%
45	79.97	8.57	9.68%



Gambar 4.43 Grafik peningkatan tegangan dengan jarak 5 mm pada model 2

Dari analisis pada kedua model didapatkan nilai peningkatan terbesar untuk model 1 sebesar 135,46 Mpa, sedangkan untuk model 2 didapatkan nilai peningkatan terbesar 31,3 Mpa. Sehingga dapat disimpulkan model 1 memiliki peningkatan tegangan lebih besar daripada model 2.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini adalah :

Berdasarkan simulasi analisis dinamis selama 3 jam (10800 detik) dengan kapasitas *tanker* 160.000 DWT didapatkan *tension* tiap *mooring line* sebagai berikut :

Tension yang terjadi pada *hawser* keadaan *full load* sebesar 1389,36 kN pada sambungan *tanker* dan 1389,51 kN pada sambungan *buoy*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 1320,15 kN pada sambungan *tanker* dan 1320,14 kN pada sambungan *buoy*.

Tension yang terjadi pada *mooring chain* keadaan *full load* sebesar 3202,12 kN pada sambungan *buoy* dan 3159,29 kN pada sambungan *link plate*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 3173,14 kN pada sambungan *buoy* dan 3118,5 kN pada sambungan *link plate*.

Tension yang terjadi pada *anchor chain* 1 keadaan *full load* sebesar 2700,79 kN pada sambungan *link plate* dan 2698,23 kN pada sambungan *anchor*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 2689,95 kN pada sambungan *link plate* dan sambungan *anchor*.

Tension yang terjadi pada *anchor chain* 2 keadaan *full load* sebesar 128,89 kN pada sambungan *link plate* dan 120,21 kN pada sambungan *anchor*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 160,06 kN pada sambungan *link plate* dan 153,07 kN pada sambungan *anchor*.

Tension yang terjadi pada *anchor chain* 3 keadaan *full load* sebesar 136,24 kN pada sambungan *link plate* dan 127,94 kN pada sambungan *anchor*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 269,04 kN pada sambungan *link plate* dan 260,37 kN pada sambungan *anchor*.

Tension yang terjadi pada *sinker chain* keadaan *full load* sebesar 1918,11 kN pada sambungan *link plate* dan 1901,60 kN pada sambungan *sinker*. Untuk kondisi *ballast load tension* yang terjadi sebesar 1796,10 kN pada sambungan *link plate* dan 1778,88 kN pada sambungan *sinker*.

Terdapat 2 alternatif desain untuk peningkatan beban *tanker* menjadi 160.000 DWT yaitu :

Model 1 desain pelat dengan 4 lubang dan 1 *padeye* yang memiliki ukuran struktur 1,75 m, lebar 1,25 m, dan tinggi 0,5 m dengan berat 1178,2 kg.

Model 2 desain pelat dengan 3 lubang dan 2 *padeye* dengan ukuran utama panjang 1,75 m, lebar 1,56 m, dan tinggi 0,85 m dengan berat 1697,2 kg

Berdasarkan hasil pemodelan struktur dengan beban *tension* terbesar didapatkan tegangan *von misses* maksimum pada model 1 sebesar 293,19 Mpa dan untuk model 2 didapatkan tegangan *von misses* maksimum sebesar 254,41 Mpa. Dari hasil analisis didapatkan bahwa kedua desain dikatakan aman untuk beroperasi karena tegangan *von misses* maksimum yang terjadi tidak melebihi 90% dari *yield stress* material yaitu sebesar 310,5 Mpa. Dari analisis distribusi tegangan dengan jarak titik 5 mm didapatkan peningkatan terbesar yaitu 135,46 Mpa untuk model 1 dan peningkatan terbesar dengan nilai 31,3 Mpa pada model 2.

Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil tugas akhir ini adalah :

Tugas akhir ini hanya melakukan analisis berdasarkan kekuatan pada *link plate* akibat penambatan *tanker* 160.000 DWT tanpa memperhitungkan kekuatan *mooring line* dan *buoy*, sehingga untuk analisis selanjutnya dilakukan analisis kekuatan *mooring line* dan *buoy* akibat penambatan *tanker* 160.000 DWT

Analisis lanjutan yang dapat dilakukan adalah analisis kelelahan pada struktur *link plate*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2001. *Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems*. Houston. American Bureau of Shipping.
- ABS. 2012. *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA. American Bureau of Shipping.
- Agustina, D. K. 2012. *Analisis Kekuatan Kelelahan Soft Yoke Mooring System Akibat Beban Siklis Gelombang pada FSRU*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- API RP 2SK 3rd Edition. 2005. *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington DC: API Publishing Services.
- Barltrop, N.D.P. 1998. *Floating Structures: a guide for design and analysis Vol.2*. USA: Oilfield Publications, Inc.
- Bhattacharyya. R. 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. USA: Computational.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Mauliani, D. R. 2015. *Analisis Kekuatan Struktur Global Buoy pada Single Point Mooring FSO Arco Ardjuna*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- OCIMF, 1997, *Mooring Equipment Guidelines*. London: WITHERBY & CO. LTD
- OCIMF, 1994, *Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs*. London: WITHERBY & CO. LTD
- OCIMF, 1994, *Tandem Mooring & Offloading Guidelines for Conventional Tankers at F(P)SO Facilities*. Scotland: Witherby Seamanship International

Purnawanti, Y. N. 2015. *Analisis Tegangan Lokal Maksimum pada Bollard akibat Modifikasi Sistem Tambat FSO Ladinda*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Sii, H. S., J. Wang, A. G. Eleye-Datubo, J. B. Yang, dan J. Liu. 2005. "Safety Assessment of FPSO Turret-Mooring System using Approximate Reasoning and Evidential Reasoning". *Marine Technology* 42 (2): 88-102

Soedjono, J. J. 1998. *Diktat Mata Kuliah Konstruksi Bangunan Laut II*. Surabaya: Departemen Teknik Kelautan ITS.

Soetomo, J., 2010, *Diktat Mata Kuliah Hidrodinamika II*. Surabaya : Departemen Teknik Kelautan ITS.

Soegiono. 2004. *Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut*. Surabaya: Airlangga University Press.

LAMPIRAN A

Pemodelan Struktur Tanker

Hasil Perhitungan Hidrostatik Software Maxsurf
Kondisi Full Load

Displacement	185596	t
Volume (displaced)	181069.2	m ³
Draft Amidships	17	m
Immersed depth	17	m
WL Length	271.66	m
Beam max extents on WL	49	m
Wetted Area	19232.86	m ²
Max sect. Area	830.461	m ²
Waterpl. Area	11857.02	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0.803	
Block coeff. (Cb)	0.8	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.997	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.891	
LCB length	-127.476	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	-133.566	from zero pt. (+ve fwd) m
		from zero pt. (+ve fwd) %
LCB %	-46.925	Lwl
		from zero pt. (+ve fwd) %
LCF %	-49.167	Lwl
KB	8.848	m
KG fluid	0	m
BMt	11.823	m
BML	330.752	m
GMt corrected	20.671	m
GML	339.6	m
KMt	20.671	m
KML	339.6	m
Immersion (TPc)	121.534	tonne/cm
MTc	2378.433	tonne.m
RM at 1deg =		
GMt.Disp.sin(1)	66954.5	tonne.m
Length:Beam ratio	5.544	
Beam:Draft ratio	2.882	
Length:Vol ^{0.333} ratio	4.802	
Precision	Highest	216 stations

Hasil Perhitungan Hidrostatik Software Maxsurf
Kondisi Ballast Load

Displacement	71122	t
Volume (displaced)	69386.96	m ³
Draft Amidships	7	m
Immersed depth	7	m
WL Length	260.626	m
Beam max extents on WL	49	m
Wetted Area	13130.06	m ²
Max sect. area	340.461	m ²
Waterpl. Area	10498.65	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0.782	
Block coeff. (Cb)	0.776	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.993	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.822	
LCB length	-123.253	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	-124.626	from zero pt. (+ve fwd) m
		from zero pt. (+ve fwd) %
LCB %	-47.291	Lwl
		from zero pt. (+ve fwd) %
LCF %	-47.818	Lwl
KB	3.603	m
KG fluid	0	m
BMt	26.636	m
BML	610.661	m
GMt corrected	30.239	m
GML	614.265	m
KMt	30.239	m
KML	614.265	m
Immersion (TPc)	107.611	tonne/cm
MTc	1648.585	tonne.m
RM at 1deg =		
GMt.Disp.sin(1)	37534.07	tonne.m
Length:Beam ratio	5.319	
Beam:Draft ratio	7	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6.342	
Precision	Highest	217 stations

Output Moses kondisi Full load

Page 1 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*
*          *** MOSES ***
*          -----
*          May 8, 2017
*          Shuttle Tanker (full load)
*
```

+++ HYDROSTATIC PROPERTIES +++

For Body KAPAL

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

/--- Condition ---/ Displac-/- Center Of Buoyancy --/ W.P. //C. Flotation / /--- Metacentric Heights ---/

Draft	Trim	Roll	M-Tons	---X---	---Y---	---Z---	Area	---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-
0.00	0.00	0.00	-0.07	-198.17	-0.36	-0.04	7325.776	-124.35	-0.00	-1.4315E7	-3.1898E8	-1.4315E7	-3.1898E8
0.50	0.00	0.00	4254.23	-122.97	-0.00	0.26	8823.648	-122.80	-0.00	320.00	7057.42	319.74	7057.17
1.00	0.00	0.00	8902.46	-122.83	-0.00	0.52	9291.850	-122.64	-0.00	170.70	3720.89	170.19	3720.38
1.50	0.00	0.00	13743.17	-122.74	-0.00	0.77	9588.994	-122.55	-0.00	118.29	2564.05	117.51	2563.28
2.00	0.00	0.00	18709.99	-122.69	-0.00	1.03	9787.399	-122.51	-0.00	90.71	1968.58	89.67	1967.54
2.50	0.00	0.00	23762.31	-122.65	-0.00	1.29	9925.483	-122.51	-0.00	73.63	1601.68	72.34	1600.39
3.00	0.00	0.00	28875.85	-122.63	-0.00	1.55	10031.300	-122.56	-0.00	62.16	1352.04	60.61	1350.49
3.50	0.00	0.00	34038.72	-122.62	-0.00	1.81	10119.090	-122.69	-0.00	53.98	1171.60	52.17	1169.79
4.00	0.00	0.00	39243.06	-122.65	-0.00	2.07	10195.901	-122.88	-0.00	47.90	1035.35	45.83	1033.28
4.50	0.00	0.00	44484.98	-122.69	-0.00	2.32	10263.796	-123.13	-0.00	43.20	928.67	40.88	926.35
5.00	0.00	0.00	49759.73	-122.75	-0.00	2.58	10325.707	-123.43	-0.00	39.48	843.05	36.90	840.47
5.50	0.00	0.00	55065.79	-122.83	-0.00	2.84	10385.069	-123.75	-0.00	36.49	773.20	33.65	770.36
6.00	0.00	0.00	60401.84	-122.92	-0.00	3.10	10442.845	-124.08	-0.00	34.04	715.30	30.94	712.20
6.50	0.00	0.00	65767.11	-123.03	-0.00	3.35	10499.697	-124.46	-0.00	32.00	666.60	28.65	663.25
7.00	0.00	0.00	71160.36	-123.16	-0.00	3.61	10553.801	-124.90	-0.00	30.29	624.67	26.68	621.06
7.50	0.00	0.00	76581.97	-123.30	-0.00	3.87	10609.612	-125.36	-0.00	28.84	588.95	24.97	585.08
8.00	0.00	0.00	82032.28	-123.45	-0.00	4.13	10668.034	-125.84	-0.00	27.61	558.35	23.49	554.22
8.50	0.00	0.00	87513.91	-123.62	-0.00	4.38	10727.539	-126.34	-0.00	26.56	531.62	22.18	527.23
9.00	0.00	0.00	93026.26	-123.79	-0.00	4.64	10790.672	-126.89	-0.00	25.66	508.57	21.02	503.92
9.50	0.00	0.00	98573.38	-123.98	-0.00	4.90	10862.745	-127.55	-0.00	24.89	489.42	19.99	484.52
10.00	0.00	0.00	104067.72	-124.09	-0.00	5.16	10687.694	-125.50	-0.00	24.15	438.25	19.00	433.09
10.50	0.00	0.00	109610.65	-124.23	-0.00	5.42	10936.053	-128.14	-0.00	23.62	449.23	18.21	443.82
11.00	0.00	0.00	115238.13	-124.44	-0.00	5.68	11020.896	-128.90	0.00	23.12	437.84	17.45	432.16
11.50	0.00	0.00	120905.14	-124.67	-0.00	5.94	11097.441	-129.56	0.00	22.69	426.26	16.75	420.33
12.00	0.00	0.00	126611.11	-124.90	-0.00	6.20	11176.853	-130.21	0.00	22.32	416.06	16.12	409.86
12.50	0.00	0.00	132357.88	-125.15	-0.00	6.46	11262.534	-130.92	0.00	22.00	407.73	15.54	401.27
13.00	0.00	0.00	138154.12	-125.41	-0.00	6.73	11355.328	-131.63	0.00	21.73	400.98	15.01	394.25
13.50	0.00	0.00	143992.16	-125.67	-0.00	6.99	11423.682	-132.30	0.00	21.50	391.78	14.51	384.79
14.00	0.00	0.00	149847.25	-125.95	-0.00	7.25	11476.008	-133.00	0.00	21.30	381.35	14.05	374.09
14.50	0.00	0.00	155748.95	-126.22	-0.00	7.52	11562.488	-133.18	0.00	21.14	375.53	13.62	368.01
15.00	0.00	0.00	161693.78	-126.48	-0.00	7.79	11641.440	-133.34	0.00	21.00	369.28	13.22	361.50
15.50	0.00	0.00	167676.88	-126.73	-0.00	8.05	11709.083	-133.53	0.00	20.89	362.40	12.84	354.35
16.00	0.00	0.00	173693.31	-126.97	-0.00	8.32	11777.674	-133.64	0.00	20.80	356.00	12.48	347.69
16.50	0.00	0.00	179747.47	-127.19	-0.00	8.59	11846.887	-133.68	0.00	20.74	350.18	12.15	341.59
17.00	0.00	0.00	185830.86	-127.41	-0.00	8.85	11898.363	-133.85	0.00	20.68	342.08	11.83	334.23

Page 2 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*
*          *** MOSES ***
*          -----
*          May 8, 2017
*          Shuttle Tanker (full load)
*
```

+++ HYDROSTATIC COEFFICIENTS +++

For Body KAPAL

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Wetted			Load To Change /--- For KG = KB ---/		
/--- Condition ---/			Displacement	Surface	Draft 1 MM
Draft	Trim	Roll	Displacement	Surface	Draft 1 MM
0.00	0.00	0.00	-0.07	7325.8	7.51
0.50	0.00	0.00	4254.23	8905.3	9.04
1.00	0.00	0.00	8902.46	9515.2	9.52
1.50	0.00	0.00	13743.17	9998.9	9.83
2.00	0.00	0.00	18709.99	10429.2	10.03
2.50	0.00	0.00	23762.31	10837.7	10.17
3.00	0.00	0.00	28875.85	11238.4	10.28
3.50	0.00	0.00	34038.72	11644.7	10.37

4.00	0.00	0.00	39243.06	12072.5	10.45	313.92	7077.16
4.50	0.00	0.00	44484.98	12524.7	10.52	317.37	7192.23
5.00	0.00	0.00	49759.73	13002.5	10.58	320.48	7299.24
5.50	0.00	0.00	55065.79	13488.1	10.64	323.41	7403.76
6.00	0.00	0.00	60401.84	13982.3	10.70	326.17	7508.13
6.50	0.00	0.00	65767.11	14492.5	10.76	328.82	7613.11
7.00	0.00	0.00	71160.36	15005.0	10.81	331.34	7713.51
7.50	0.00	0.00	76581.97	15505.8	10.87	333.80	7820.25
8.00	0.00	0.00	82032.28	15996.2	10.93	336.27	7934.96
8.50	0.00	0.00	87513.91	16474.3	10.99	338.78	8053.02
9.00	0.00	0.00	93026.26	16949.6	11.06	341.31	8181.78
9.50	0.00	0.00	98573.38	17417.7	11.13	343.87	8335.76
10.00	0.00	0.00	104067.72	18064.7	10.95	345.02	7866.31
10.50	0.00	0.00	109610.65	18644.7	11.21	348.30	8490.57
11.00	0.00	0.00	115238.13	19035.6	11.29	350.88	8691.97
11.50	0.00	0.00	120905.14	19413.6	11.37	353.52	8869.71
12.00	0.00	0.00	126611.11	19788.3	11.45	356.27	9057.03
12.50	0.00	0.00	132357.88	20167.4	11.54	358.99	9269.73
13.00	0.00	0.00	138154.12	20549.7	11.64	361.84	9506.37
13.50	0.00	0.00	143992.16	20930.2	11.71	364.55	9670.35
14.00	0.00	0.00	149847.25	21363.1	11.76	367.41	9783.79
14.50	0.00	0.00	155748.95	21731.9	11.85	370.16	10003.76
15.00	0.00	0.00	161693.78	22084.1	11.93	373.01	10201.82
15.50	0.00	0.00	167676.88	22435.2	12.00	375.66	10369.99
16.00	0.00	0.00	173693.31	22773.7	12.07	378.48	10540.17
16.50	0.00	0.00	179747.47	23113.8	12.14	381.19	10716.47
17.00	0.00	0.00	185830.86	23453.4	12.19	383.75	10840.23

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     ----- May 8, 2017                             *
* Shuttle Tanker (full load)                                                    *
*                                     *                                                    *
*****
+++ ADDED INERTIA COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

```

Results are in Body System						
Pressure Name = KAPAL						
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified						
Encounter	Values Normalized By Mass with Weight = 185830.8					
Period	Added Mass Coefficients -----/			Added Radii of Gyration ----/		
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.1256	0.8958	3.2454	17.860	269.202	132.077
31.42	0.1256	0.9962	1.9613	18.691	209.537	138.900
20.94	0.1256	1.1349	1.3844	19.687	175.828	147.718
15.71	0.1256	1.0988	1.1156	19.169	156.978	145.482
12.57	0.1256	0.7653	1.0166	16.252	148.350	123.316
10.47	0.1256	0.4342	1.0171	13.083	146.677	96.170
8.98	0.1256	0.2443	1.0673	11.074	148.787	75.674
7.85	0.1256	0.1528	1.1324	10.113	152.232	62.760
6.98	0.1256	0.1134	1.2086	9.780	155.991	55.713
6.28	0.1256	0.1009	1.2507	9.759	159.197	52.740
5.71	0.1256	0.1011	1.2915	9.853	161.640	52.109
5.24	0.1256	0.1156	1.3268	10.088	163.818	54.050
4.83	0.1256	0.1262	1.3453	10.264	165.283	55.693
4.49	0.1256	0.1396	1.3685	10.445	166.591	57.456
4.19	0.1256	0.1533	1.3893	10.598	168.692	59.521
3.93	0.1256	0.1789	1.3932	10.868	168.253	63.378
3.70	0.1256	0.1817	1.4046	10.916	169.084	63.955
3.49	0.1256	0.1917	1.4125	10.994	169.720	64.972
3.31	0.1256	0.2003	1.4168	11.092	169.812	66.290
3.14	0.1256	0.2121	1.4244	11.206	170.548	67.988

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     ----- May 8, 2017                             *
* Shuttle Tanker (full load)                                                    *
*                                     *                                                    *
*****
+++ LINEAR RADIATION DAMPING COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

```

Results are in Body System						
Pressure Name = KAPAL						
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified						
Encounter	Values Normalized By Mass with Weight = 185830.8					
Period	Damping / Mass -----/			Damping Radii of Gyration ----/		
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.0000	0.0003	0.2631	0.310	76.687	2.257
31.42	0.0000	0.0091	0.4123	1.747	96.548	12.957
20.94	0.0000	0.0691	0.4638	4.714	103.367	35.636
15.71	0.0000	0.2386	0.4460	8.522	102.851	65.967
12.57	0.0000	0.4184	0.3847	10.991	97.691	87.354
10.47	0.0000	0.4800	0.3051	11.522	89.824	94.077
8.98	0.0000	0.4632	0.2289	11.119	81.085	93.137
7.85	0.0000	0.4198	0.1676	10.440	72.802	89.367
6.98	0.0000	0.3707	0.1337	9.721	69.300	84.583
6.28	0.0000	0.3227	0.0974	9.035	60.747	79.436
5.71	0.0000	0.2768	0.0759	8.379	55.634	74.003
5.24	0.0000	0.2380	0.0639	7.813	52.031	69.699
4.83	0.0000	0.2068	0.0551	7.375	50.014	64.603
4.49	0.0000	0.1765	0.0486	6.913	47.150	59.920
4.19	0.0000	0.1504	0.0617	6.502	54.547	55.593
3.93	0.0000	0.1399	0.0359	6.315	41.116	53.859
3.70	0.0000	0.1138	0.0324	5.881	39.489	49.544
3.49	0.0000	0.0977	0.0305	5.518	38.176	45.621
3.31	0.0000	0.0813	0.0258	5.213	34.940	42.288
3.14	0.0000	0.0800	0.0246	5.094	33.826	41.319

*** MOSES ***

May 8, 2017

Shuttle Tanker (full load)

+++ PANEL WAVE FREQUENCY FORCES FOR KAPAL +++

Pressure Name = KAPAL														Heading = 0.00													
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified																											
ENCOUNTER		Surge Force /				Sway Force /				Heave Force /				Roll Moment /				Pitch Moment /				Yaw					
Moment /																											
-----		Wave Ampl.				Wave Ampl.				Wave Ampl.				Wave Ampl.				Wave Ampl.				Wave Ampl.					
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/					
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase				
0.1000	62.83	191	-96	1	179	11377	-4	4	0	1525272	-7	3	-6														
0.2000	31.42	719	-118	3	177	9735	-22	15	2	1321844	-31	6	-19														
0.3000	20.94	1322	-155	7	170	7028	-55	42	-1	1016229	-77	28	60														
0.4000	15.71	1365	153	13	154	3096	-105	93	-22	602179	-151	130	8														
0.5000	12.57	347	87	17	129	589	27	120	-52	263194	80	177	-49														
0.6000	10.47	802	-170	17	111	1319	-71	115	-66	212147	-91	88	-113														
0.7000	8.98	396	94	16	107	479	44	114	-76	146388	80	219	-33														
0.8000	7.85	397	172	14	102	645	-95	98	-82	119217	-128	127	178														
0.9000	6.98	103	-123	14	114	392	-19	94	-77	62057	-3	183	-111														
1.0000	6.28	82	-137	14	114	40	122	90	-70	34640	108	180	-38														
1.1000	5.71	120	-129	14	117	121	-119	94	-66	22041	-155	196	0														
1.2000	5.24	127	-127	16	117	129	-78	108	-62	21454	-94	197	4														
1.3000	4.83	128	-128	18	115	105	-89	157	-54	22584	-98	619	-20														
1.4000	4.49	125	-130	19	103	52	-95	118	-79	12745	-108	137	-48														
1.5000	4.19	119	-133	20	108	100	17	150	-41	19711	15	1120	6														
1.6000	3.93	104	-141	20	80	51	84	114	-104	9782	88	252	139														
1.7000	3.70	84	-145	20	64	26	38	145	-116	2358	-28	176	-124														
1.8000	3.49	66	-156	26	53	19	-43	178	-127	6420	-54	143	-107														
1.9000	3.31	47	-147	20	38	54	161	164	-144	15346	173	554	-157														
2.0000	3.14	37	-175	23	25	53	-127	153	-149	13988	-123	439	-134														

*** MOSES ***

May 8, 2017

Shuttle Tanker (full load)

+++ PANEL WAVE FREQUENCY FORCES FOR KAPAL +++

Pressure Name = KAPAL Heading = 180.00													
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified													
ENCOUNTER		Surge Force /		Sway Force /		Heave Force /		Roll Moment /		Pitch Moment /		Yaw	
Moment /													
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	191	97	1	180	11378	10	4	-1	1526018	13	3	10
0.2000	31.42	719	119	3	178	9736	40	16	-9	1329345	49	4	0
0.3000	20.94	1322	156	7	171	6999	86	45	-18	1032636	108	50	-91
0.4000	15.71	1365	-152	13	159	2981	150	97	-24	608219	-164	190	-50
0.5000	12.57	347	-86	17	147	707	30	118	-34	256862	-20	219	11
0.6000	10.47	802	171	17	133	1218	142	121	-54	227819	164	187	-137
0.7000	8.98	396	-93	16	141	701	28	116	-43	165857	4	286	-9
0.8000	7.85	397	-171	14	147	437	-171	103	-39	122485	-134	221	-101
0.9000	6.98	103	124	12	179	420	118	124	21	65252	128	438	75
1.0000	6.28	82	138	14	-174	258	103	87	-3	43263	83	233	32
1.1000	5.71	120	130	14	-158	179	98	84	15	34670	69	190	-22
1.2000	5.24	127	128	15	-140	155	98	88	41	34447	71	96	-32
1.3000	4.83	128	129	15	-126	161	102	53	43	35721	86	366	-108
1.4000	4.49	125	131	20	-109	130	154	149	77	24313	148	402	91
1.5000	4.19	119	134	18	-85	218	-162	128	128	44237	-158	1019	-174
1.6000	3.93	104	142	21	-84	48	-146	147	99	6076	-132	422	136
1.7000	3.70	84	146	20	-79	18	-86	146	98	4584	-30	165	83
1.8000	3.49	66	157	27	-64	16	129	185	115	3004	111	184	138
1.9000	3.31	47	148	19	-55	39	-17	136	112	9761	-6	448	64

2.0000 3.14 37 176 23 -38 31 81 126 135 7691 83 223 60
Page 7 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

* *** MOSES *** *
* ----- May 8, 2017 *
* Shuttle Tanker (full load) *
* *

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++

=====

Drift Name = KAPAL Heading = 0.00 Computed
Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified
Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2
Reported in the Body System

ENCOUNTER	TRANSLATION			ROTATION			
	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	3.4	0.0	1.1	-0.0	810.9	-0.6
0.2000	31.416	0.9	0.0	-15.4	-0.2	-1403.4	-1.4
0.3000	20.944	-5.5	0.0	-35.7	-0.4	-4197.3	-2.6
0.4000	15.708	-13.4	0.0	-54.0	-0.7	-6888.7	-4.2
0.5000	12.566	-19.0	0.0	-63.8	-0.6	-8386.8	-1.7
0.6000	10.472	-20.6	-0.0	-65.9	-0.2	-8953.4	2.3
0.7000	8.976	-19.7	-0.0	-61.0	0.1	-8576.8	6.5
0.8000	7.854	-18.3	-0.1	-52.1	0.3	-7612.9	10.2
0.9000	6.981	-18.0	0.1	-42.2	-2.9	-6447.1	5.6
1.0000	6.283	-17.8	-0.1	-32.9	0.1	-5305.6	16.6
1.1000	5.712	-17.8	-0.1	-26.4	0.0	-4447.1	22.4
1.2000	5.236	-18.3	-0.1	-21.7	-0.0	-3807.1	29.4
1.3000	4.833	-19.0	0.0	-20.3	-5.6	-3652.6	-2.1
1.4000	4.488	-18.6	-0.3	-22.4	2.4	-4262.7	88.7
1.5000	4.189	-19.5	-0.4	-25.4	2.0	-5004.0	109.4
1.6000	3.927	-17.8	-0.5	-31.2	0.9	-6369.5	136.6
1.7000	3.696	-17.6	-0.7	-38.2	0.5	-7977.0	178.1
1.8000	3.491	-16.7	-0.9	-47.5	0.5	-10123.9	239.5
1.9000	3.307	-17.6	-1.2	-56.6	0.9	-12692.7	315.5
2.0000	3.142	-16.8	-1.6	-70.5	1.3	-16138.0	408.3

Page 8 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

* *** MOSES *** *
* ----- May 8, 2017 *
* Shuttle Tanker (full load) *
* *

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++

=====

Drift Name = KAPAL Heading = 180.00 Computed
Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified
Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2
Reported in the Body System

ENCOUNTER	TRANSLATION			ROTATION			
	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/	/-----/
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.1000	62.832	3.9	0.0	1.1	-0.0	811.6	-0.6
0.2000	31.416	6.5	0.0	-15.4	-0.2	-1394.0	-1.4
0.3000	20.944	12.8	0.0	-35.7	-0.4	-4160.8	-2.6
0.4000	15.708	20.7	0.0	-54.0	-0.7	-6802.3	-4.2
0.5000	12.566	26.3	0.0	-63.8	-0.6	-8232.3	-1.9
0.6000	10.472	27.9	-0.0	-65.9	-0.2	-8722.0	2.0
0.7000	8.976	27.0	-0.0	-61.0	0.1	-8268.1	6.0
0.8000	7.854	25.6	-0.1	-52.1	0.3	-7232.6	9.6
0.9000	6.981	25.3	0.1	-42.2	-2.9	-6001.7	3.9
1.0000	6.283	25.1	-0.1	-32.9	0.1	-4803.1	16.0
1.1000	5.712	25.1	-0.1	-26.4	0.0	-3904.6	21.9
1.2000	5.236	25.7	-0.1	-21.7	-0.0	-3227.5	29.0
1.3000	4.833	26.3	0.0	-20.3	-5.6	-3037.6	-0.9
1.4000	4.488	25.9	-0.3	-22.4	2.4	-3642.8	86.3
1.5000	4.189	26.9	-0.4	-25.4	2.0	-4357.8	105.9
1.6000	3.927	25.1	-0.5	-31.2	0.9	-5746.0	135.1
1.7000	3.696	24.9	-0.7	-38.2	0.5	-7349.1	177.1
1.8000	3.491	24.0	-0.9	-47.5	0.5	-9515.3	238.6

1.9000 3.307 24.9 -1.2 -56.6 0.9 -12051.3 315.0
 2.0000 3.142 24.1 -1.6 -70.5 1.3 -15514.8 407.3
 Page 9 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 8, 2017 *
 * Shuttle Tanker (full load) *
 * *

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++								
=====								
Drift Name = KAPAL Heading = 0.00 Computed								
Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00								
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified								
Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2								
Reported in the Body System								
ENCOUNTER	TRANSLATION				ROTATION			
	/-----/				/-----/			
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	
0.1000	62.832	3.4	0.0	1.1	-0.0	810.9	-0.6	
0.2000	31.416	0.9	0.0	-15.4	-0.2	-1403.4	-1.4	
0.3000	20.944	-5.5	0.0	-35.7	-0.4	-4197.3	-2.6	
0.4000	15.708	-13.4	0.0	-54.0	-0.7	-6888.7	-4.2	
0.5000	12.566	-19.0	0.0	-63.8	-0.6	-8386.8	-1.7	
0.6000	10.472	-20.6	-0.0	-65.9	-0.2	-8953.4	2.3	
0.7000	8.976	-19.7	-0.0	-61.0	0.1	-8576.8	6.5	
0.8000	7.854	-18.3	-0.1	-52.1	0.3	-7612.9	10.2	
0.9000	6.981	-18.0	0.1	-42.2	-2.9	-6447.1	5.6	
1.0000	6.283	-17.8	-0.1	-32.9	0.1	-5305.6	16.6	
1.1000	5.712	-17.8	-0.1	-26.4	0.0	-4447.1	22.4	
1.2000	5.236	-18.3	-0.1	-21.7	-0.0	-3807.1	29.4	
1.3000	4.833	-19.0	0.0	-20.3	-5.6	-3652.6	-2.1	
1.4000	4.488	-18.6	-0.3	-22.4	2.4	-4262.7	88.7	
1.5000	4.189	-19.5	-0.4	-25.4	2.0	-5004.0	109.4	
1.6000	3.927	-17.8	-0.5	-31.2	0.9	-6369.5	136.6	
1.7000	3.696	-17.6	-0.7	-38.2	0.5	-7977.0	178.1	
1.8000	3.491	-16.7	-0.9	-47.5	0.5	-10123.9	239.5	
1.9000	3.307	-17.6	-1.2	-56.6	0.9	-12692.7	315.5	
2.0000	3.142	-16.8	-1.6	-70.5	1.3	-16138.0	408.3	

Page 10 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 8, 2017 *
 * Shuttle Tanker (full load) *
 * *

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++								
=====								
Drift Name = KAPAL Heading = 180.00 Computed								
Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00								
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified								
Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2								
Reported in the Body System								
ENCOUNTER	TRANSLATION				ROTATION			
	/-----/				/-----/			
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	
0.1000	62.832	3.9	0.0	1.1	-0.0	811.6	-0.6	
0.2000	31.416	6.5	0.0	-15.4	-0.2	-1394.0	-1.4	
0.3000	20.944	12.8	0.0	-35.7	-0.4	-4160.8	-2.6	
0.4000	15.708	20.7	0.0	-54.0	-0.7	-6802.3	-4.2	
0.5000	12.566	26.3	0.0	-63.8	-0.6	-8232.3	-1.9	
0.6000	10.472	27.9	-0.0	-65.9	-0.2	-8722.0	2.0	
0.7000	8.976	27.0	-0.0	-61.0	0.1	-8268.1	6.0	
0.8000	7.854	25.6	-0.1	-52.1	0.3	-7232.6	9.6	
0.9000	6.981	25.3	0.1	-42.2	-2.9	-6001.7	3.9	
1.0000	6.283	25.1	-0.1	-32.9	0.1	-4803.1	16.0	
1.1000	5.712	25.1	-0.1	-26.4	0.0	-3904.6	21.9	
1.2000	5.236	25.7	-0.1	-21.7	-0.0	-3227.5	29.0	
1.3000	4.833	26.3	0.0	-20.3	-5.6	-3037.6	-0.9	
1.4000	4.488	25.9	-0.3	-22.4	2.4	-3642.8	86.3	
1.5000	4.189	26.9	-0.4	-25.4	2.0	-4357.8	105.9	
1.6000	3.927	25.1	-0.5	-31.2	0.9	-5746.0	135.1	
1.7000	3.696	24.9	-0.7	-38.2	0.5	-7349.1	177.1	

1.8000 3.491 24.0 -0.9 -47.5 0.5 -9515.3 238.6
1.9000 3.307 24.9 -1.2 -56.6 0.9 -12051.3 315.0
2.0000 3.142 24.1 -1.6 -70.5 1.3 -15514.8 407.3

Page 11 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*
*                               *** MOSES ***
*                               -----
*                               May 8, 2017
*
* Shuttle Tanker (full load)
*
*
* Draft      = 17.0 Meters   Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 5.7 Meters *
* Roll Gy. Radius = 19.5 Meters   Pitch Gy. Radius = 79.4 Meters   Yaw Gy. Radius = 79.4 Meters *
* Heading     = 0.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*                               *
```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -127.4 Y = -0.0 Z = 15.0

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /		Wave Ampl.	
Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.895	83	0.000	0	0.998	-6	0.000	0	0.059	-97	0.000	0		
0.2000	31.42	0.837	61	0.000	0	0.968	-29	0.000	0	0.236	-121	0.000	0		
0.3000	20.94	0.675	25	0.001	132	0.828	-68	0.007	-58	0.506	-164	0.002	127		
0.4000	15.71	0.381	-24	0.003	73	0.492	-121	0.029	62	0.732	131	0.004	75		
0.5000	12.57	0.056	-79	0.004	1	0.109	-104	0.015	-22	0.560	35	0.005	-2		
0.6000	10.47	0.104	11	0.002	-22	0.371	178	0.005	-53	0.103	114	0.002	-32		
0.7000	8.98	0.041	-81	0.002	-48	0.046	-90	0.003	-74	0.140	-45	0.002	-58		
0.8000	7.85	0.030	-5	0.001	-46	0.052	94	0.001	-68	0.048	32	0.001	-51		
0.9000	6.98	0.006	56	0.001	-45	0.017	169	0.001	-52	0.012	-126	0.001	-47		
1.0000	6.28	0.004	37	0.001	-48	0.002	-38	0.001	-59	0.012	-67	0.001	-56		
1.1000	5.71	0.005	48	0.001	-48	0.003	61	0.001	-56	0.004	-20	0.001	-57		
1.2000	5.24	0.004	52	0.001	-52	0.003	102	0.001	-60	0.001	51	0.001	-59		
1.3000	4.83	0.004	51	0.001	-56	0.002	93	0.001	-75	0.001	76	0.000	0		
1.4000	4.49	0.003	50	0.000	0	0.001	86	0.001	-72	0.001	65	0.000	0		
1.5000	4.19	0.002	46	0.000	0	0.001	-160	0.001	-94	0.001	-156	0.000	0		
1.6000	3.93	0.002	38	0.000	0	0.000	0	0.001	-95	0.000	0	0.000	0		
1.7000	3.70	0.001	34	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0		
1.8000	3.49	0.001	24	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0		
1.9000	3.31	0.001	31	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	0	0.000	0		
2.0000	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0		

Page 12 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*
*                               *** MOSES ***
*                               -----
*                               May 8, 2017
*
* Shuttle Tanker (full load)
*
*
* Draft      = 17.0 Meters   Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT      = 5.7 Meters *
* Roll Gy. Radius = 19.5 Meters   Pitch Gy. Radius = 79.4 Meters   Yaw Gy. Radius = 79.4 Meters *
* Heading     = 180.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*                               *
```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -127.4 Y = -0.0 Z = 15.0

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /		Wave Ampl.	
Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.895	-82	0.000	0	0.998	7	0.000	0	0.059	98	0.000	0		
0.2000	31.42	0.837	-60	0.000	0	0.967	29	0.000	0	0.237	121	0.000	0		
0.3000	20.94	0.675	-23	0.001	-144	0.820	63	0.006	24	0.513	158	0.001	-152		
0.4000	15.71	0.379	27	0.002	-120	0.446	103	0.021	-131	0.742	-154	0.003	-122		
0.5000	12.57	0.051	98	0.002	-84	0.226	14	0.008	-110	0.515	-104	0.003	-91		
0.6000	10.47	0.103	-4	0.001	19	0.233	28	0.003	-5	0.251	96	0.002	15		
0.7000	8.98	0.037	91	0.001	-2	0.110	-120	0.002	-24	0.118	-158	0.001	-19		
0.8000	7.85	0.029	11	0.001	3	0.027	31	0.001	-14	0.069	89	0.001	3		
0.9000	6.98	0.006	-53	0.001	22	0.019	-53	0.001	-29	0.009	2	0.001	0		
1.0000	6.28	0.004	-43	0.001	24	0.009	-73	0.001	16	0.006	-132	0.001	15		

1.1000	5.71	0.005	-51	0.001	35	0.005	-79	0.001	27	0.005	-145	0.001	36
1.2000	5.24	0.004	-52	0.000	0	0.003	-79	0.001	41	0.004	-137	0.001	50
1.3000	4.83	0.004	-51	0.000	0	0.003	-74	0.001	58	0.003	-115	0.001	63
1.4000	4.49	0.003	-48	0.000	0	0.002	-24	0.001	65	0.001	-36	0.000	0
1.5000	4.19	0.002	-43	0.000	0	0.002	19	0.001	74	0.002	36	0.000	0
1.6000	3.93	0.002	-37	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.7000	3.70	0.001	-33	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.8000	3.49	0.001	-22	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.9000	3.31	0.001	-31	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.0000	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0

Page 13 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               May 8, 2017                               *
* Shuttle Tanker (full load)                                           *
*                               *                                           *
*                               *                                           *
* Draft = 17.0 Meters          Trim Angle = 0.00 Deg.                  *
*                               *                                           *

```

+++ ADDED INERTIA COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

=====

Results are in Body System
Of Point On Body KAPAL At X = -127.4 Y = -0.0 Z = 15.0
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified
Values Normalized By Mass with Weight = 185831.0

Encounter	Period	/--- Added Mass Coefficients -----/	/---- Added Radii of Gyration ----/
	Sec.	-Surge- -Sway - -Heave- -Roll - -Pitch- --Yaw--	
62.83	0.1256	0.8958 3.2454 8.573	122.250 63.695
31.42	0.1256	0.9962 1.9613 8.627	95.253 66.577
20.94	0.1256	1.1349 1.3844 8.675	79.681 70.429
15.71	0.1256	1.0988 1.1156 8.622	70.548 70.192
12.57	0.1256	0.7653 1.0166 8.489	65.806 61.696
10.47	0.1256	0.4342 1.0171 8.382	64.179 50.220
8.98	0.1256	0.2443 1.0673 8.312	64.416 41.147
7.85	0.1256	0.1528 1.1324 8.262	65.514 35.284
6.98	0.1256	0.1134 1.2086 8.225	66.826 31.912
6.28	0.1256	0.1009 1.2507 8.196	68.172 30.243
5.71	0.1256	0.1011 1.2914 8.178	69.322 29.639
5.24	0.1256	0.1156 1.3268 8.167	70.370 29.952
4.83	0.1256	0.1262 1.3453 8.153	71.153 30.239
4.49	0.1256	0.1396 1.3685 8.159	71.772 30.799
4.19	0.1256	0.1533 1.3893 8.154	72.789 31.547
3.93	0.1256	0.1789 1.3932 8.155	72.662 32.781
3.70	0.1256	0.1817 1.4046 8.159	73.101 33.053
3.49	0.1256	0.1917 1.4125 8.163	73.371 33.635
3.31	0.1256	0.2003 1.4168 8.163	73.516 34.173
3.14	0.1256	0.2121 1.4244 8.155	73.827 34.620

Page 14 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               May 8, 2017                               *
* Shuttle Tanker (full load)                                           *
*                               *                                           *
*                               *                                           *
* Draft = 17.0 Meters          Trim Angle = 0.00 Deg.                  *
*                               *                                           *

```

+++ LINEARIZED DAMPING COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

=====

==

Results are in Body System
Of Point On Body KAPAL At X = -127.4 Y = -0.0 Z = 15.0
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified
Values Normalized By Mass with Weight = 185831.0

Encounter	Period	/----- Damping / Mass -----/	/--- Damping Radii of Gyration ---/
	Sec.	-Surge- -Sway - -Heave- -Roll - -Pitch- --Yaw--	
62.83	0.0000	0.0003 0.2631 0.063	34.802 1.067
31.42	0.0000	0.0091 0.4123 0.340	44.139 5.803
20.94	0.0000	0.0691 0.4638 0.873	47.729 15.778
15.71	0.0000	0.2386 0.4460 1.446	48.140 29.437
12.57	0.0000	0.4184 0.3847 1.757	46.553 39.998
10.47	0.0000	0.4800 0.3051 1.892	43.737 44.117

-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	191	97	1	180	11378	10	2	36	94889	48	79	180
0.2000	31.42	719	119	3	178	9736	40	20	171	216666	111	340	178
0.3000	20.94	1322	156	7	171	6999	86	57	174	373692	167	849	174
0.4000	15.71	1365	-152	13	159	2981	150	104	162	411775	-125	1525	162
0.5000	12.57	347	-86	17	147	707	30	143	149	209108	-38	2067	143
0.6000	10.47	802	171	17	133	1218	142	132	141	91346	-157	2141	138
0.7000	8.98	396	-93	16	141	701	28	127	145	90129	-14	1820	137
0.8000	7.85	397	-171	14	147	437	-171	111	154	81615	-108	1735	154
0.9000	6.98	103	124	12	179	420	118	75	141	14479	169	1434	162
1.0000	6.28	82	138	14	-174	258	103	123	-168	16816	37	1560	-178
1.1000	5.71	120	130	14	-158	179	98	133	-155	18496	27	1706	-154
1.2000	5.24	127	128	15	-140	155	98	136	-141	19029	37	1872	-137
1.3000	4.83	128	129	15	-126	161	102	175	-123	16241	60	2287	-124
1.4000	4.49	125	131	20	-109	130	154	147	-115	6147	139	2131	-113
1.5000	4.19	119	134	18	-85	218	-162	184	-108	16190	-146	2576	-108
1.6000	3.93	104	142	21	-84	48	-146	170	-87	2971	-43	2384	-90
1.7000	3.70	84	146	20	-79	18	-86	157	-78	4903	-9	2409	-78
1.8000	3.49	66	157	27	-64	16	129	213	-64	1394	37	3214	-65
1.9000	3.31	47	148	19	-55	39	-17	151	-43	5606	0	2203	-44
2.0000	3.14	37	176	23	-38	31	81	215	-35	3794	76	2859	-34

Output Moses kondisi Ballast load

Page 1 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               May 9, 2017   *
*                                     RAO Shuttle Tanker (Ballast)                       *
*                                                                                       *
```

+++ HYDROSTATIC PROPERTIES +++

For Body KAPAL

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

/--- Condition ---/ Displac-/ -- Center Of Buoyancy --/ / W.P. //C. Flotation / /--- Metacentric Heights ----/

Draft	Trim	Roll	M-Tons	---X---	---Y---	---Z---	Area	---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-
0.00	0.00	0.00	-0.07	-198.17	-0.36	-0.04	7325.776	-124.35	-0.00	-1.4315E7	-3.1898E8	-1.4315E7	-3.1898E8
0.50	0.00	0.00	4254.23	-122.97	-0.00	0.26	8823.648	-122.80	-0.00	320.00	7057.42	319.74	7057.16
1.00	0.00	0.00	8902.46	-122.83	-0.00	0.52	9291.850	-122.64	-0.00	170.70	3720.89	170.19	3720.38
1.50	0.00	0.00	13743.17	-122.74	-0.00	0.77	9588.994	-122.55	-0.00	118.29	2564.05	117.51	2563.28
2.00	0.00	0.00	18709.99	-122.69	-0.00	1.03	9787.399	-122.51	-0.00	90.71	1968.58	89.67	1967.54
2.50	0.00	0.00	23762.31	-122.65	-0.00	1.29	9925.483	-122.51	-0.00	73.63	1601.68	72.34	1600.39
3.00	0.00	0.00	28875.85	-122.63	-0.00	1.55	10031.300	-122.56	-0.00	62.16	1352.04	60.61	1350.49
3.50	0.00	0.00	34038.72	-122.62	-0.00	1.81	10119.090	-122.69	-0.00	53.98	1171.60	52.17	1169.79
4.00	0.00	0.00	39243.06	-122.65	-0.00	2.07	10195.901	-122.88	-0.00	47.90	1035.35	45.83	1033.28
4.50	0.00	0.00	44484.98	-122.69	-0.00	2.32	10263.796	-123.13	-0.00	43.20	928.67	40.88	926.35
5.00	0.00	0.00	49759.73	-122.75	-0.00	2.58	10325.707	-123.43	-0.00	39.48	843.05	36.90	840.47
5.50	0.00	0.00	55065.79	-122.83	-0.00	2.84	10385.069	-123.75	-0.00	36.49	773.20	33.65	770.36
6.00	0.00	0.00	60401.84	-122.92	-0.00	3.10	10442.845	-124.08	-0.00	34.04	715.30	30.94	712.20
6.50	0.00	0.00	65767.11	-123.03	-0.00	3.35	10499.697	-124.46	-0.00	32.00	666.60	28.65	663.25
7.00	0.00	0.00	71160.36	-123.16	-0.00	3.61	10553.801	-124.90	-0.00	30.29	619.67	26.68	621.06

Page 2 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               May 9, 2017   *
*                                     RAO Shuttle Tanker (Ballast)                       *
*                                                                                       *
```

+++ HYDROSTATIC COEFFICIENTS +++

For Body KAPAL

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Wetted Load To Change /--- For KG = KB ----/

/--- Condition ---/ Displacement Surface Draft 1 MM Moment To Change .01 Deg

Draft Trim Roll -----

----- Heel --- Trim ---

0.00	0.00	0.00	-0.07	7325.8	7.51	163.34	3639.67
0.50	0.00	0.00	4254.23	8905.3	9.04	237.41	5239.97
1.00	0.00	0.00	8902.46	9515.2	9.52	264.43	5780.63
1.50	0.00	0.00	13743.17	9998.9	9.83	281.87	6148.38
2.00	0.00	0.00	18709.99	10429.2	10.03	292.83	6425.03
2.50	0.00	0.00	23762.31	10837.7	10.17	300.00	6637.30
3.00	0.00	0.00	28875.85	11238.4	10.28	305.45	6806.17
3.50	0.00	0.00	34038.72	11644.7	10.37	309.96	6949.56
4.00	0.00	0.00	39243.06	12072.5	10.45	313.92	7077.16
4.50	0.00	0.00	44484.98	12524.7	10.52	317.37	7192.23
5.00	0.00	0.00	49759.73	13002.5	10.58	320.48	7299.24
5.50	0.00	0.00	55065.79	13488.1	10.64	323.41	7403.76
6.00	0.00	0.00	60401.84	13982.3	10.70	326.17	7508.13
6.50	0.00	0.00	65767.11	14492.5	10.76	328.82	7613.11
7.00	0.00	0.00	71160.36	15005.0	10.81	331.34	7713.51

Page 3 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```
*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               May 9, 2017   *
*                                     RAO Shuttle Tanker (Ballast)                       *
*                                                                                       *
```

+++ ADDED INERTIA COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

Results are in Body System

Pressure Name = KAPAL

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Encounter Values Normalized By Mass with Weight = 71160.4						
Period	/--- Added Mass Coefficients -----/	/---- Added Radii of Gyration ----/				
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.0651	0.4343	7.8522	18.543	387.752	92.584
31.42	0.0651	0.4626	4.9572	18.984	308.199	95.337
20.94	0.0651	0.5064	3.6024	19.563	262.649	99.451
15.71	0.0651	0.5377	2.8789	19.722	234.564	102.318
12.57	0.0651	0.5172	2.4803	18.925	217.353	100.606
10.47	0.0651	0.4433	2.2740	17.373	207.633	93.892
8.98	0.0651	0.3507	2.1919	15.756	203.280	84.589
7.85	0.0651	0.2658	2.1915	14.523	202.661	74.841
6.98	0.0651	0.1968	2.2423	13.755	204.424	65.613
6.28	0.0651	0.1444	2.3217	13.360	207.504	57.458
5.71	0.0651	0.1071	2.4153	13.211	211.213	50.812
5.24	0.0651	0.0823	2.5537	13.200	216.470	45.807
4.83	0.0651	0.0677	2.5285	13.143	215.684	42.491
4.49	0.0651	0.0539	2.6241	13.358	219.592	38.546
4.19	0.0651	0.0517	2.6869	13.629	221.891	38.566
3.93	0.0651	0.0508	2.7421	13.698	224.989	38.258
3.70	0.0651	0.0507	2.7888	13.848	226.091	37.873
3.49	0.0651	0.0503	2.8385	13.974	227.653	37.624
3.31	0.0651	0.0559	2.8633	14.054	229.387	38.996
3.14	0.0651	0.0600	2.8877	14.124	230.429	39.614

Page 4 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 9, 2017 *
 * RAO Shuttle Tanker (Ballast) *
 * *

 +++ LINEAR RADIATION DAMPING COEFFICIENTS FOR KAPAL +++
 =====

Results are in Body System						
Pressure Name = KAPAL						
Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified						
Encounter Values Normalized By Mass with Weight = 71160.4						
Period	/----- Damping / Mass -----/	/--- Damping Radii of Gyration ----/				
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.0000	0.0001	0.6043	0.225	107.557	1.076
31.42	0.0000	0.0020	0.9817	1.236	137.335	6.012
20.94	0.0000	0.0142	1.1750	3.213	150.609	16.090
15.71	0.0000	0.0516	1.2420	5.871	155.335	30.634
12.57	0.0000	0.1176	1.2205	8.396	154.649	46.237
10.47	0.0000	0.1907	1.1367	10.033	150.128	58.995
8.98	0.0000	0.2486	1.0126	10.682	142.843	67.621
7.85	0.0000	0.2856	0.8686	10.640	133.726	72.820
6.98	0.0000	0.3040	0.7224	10.211	123.660	75.471
6.28	0.0000	0.3075	0.5873	9.591	113.451	76.147
5.71	0.0000	0.3001	0.4715	8.891	103.821	75.399
5.24	0.0000	0.2858	0.3880	8.162	96.464	73.728
4.83	0.0000	0.2664	0.2752	7.266	82.837	71.313
4.49	0.0000	0.2461	0.2254	6.931	77.450	68.392
4.19	0.0000	0.2316	0.2165	6.568	80.167	66.926
3.93	0.0000	0.2108	0.1649	5.912	69.855	64.383
3.70	0.0000	0.1932	0.1238	5.523	61.839	61.332
3.49	0.0000	0.1772	0.1139	5.450	59.018	58.771
3.31	0.0000	0.1615	0.0982	4.963	58.065	57.186
3.14	0.0000	0.1467	0.0882	4.608	55.958	54.279

Page 5 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 9, 2017 *
 * RAO Shuttle Tanker (Ballast) *
 * *

 +++ PANEL WAVE FREQUENCY FORCES FOR KAPAL +++
 =====

Pressure Name = KAPAL Heading = 0.00
 Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified
 ENCOUNTER Surge Force / Sway Force / Heave Force / Roll Moment / Pitch Moment / Yaw
 Moment /

-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	72	-96	0	0	10158	-4	1	176	1268631	-6	0	-107
0.2000	31.42	278	-118	0	0	8913	-19	3	160	1120388	-27	7	-130
0.3000	20.94	538	-154	0	0	6936	-47	7	128	901510	-66	32	173
0.4000	15.71	627	155	1	-82	3945	-88	9	74	586651	-125	80	92
0.5000	12.57	286	89	1	174	654	-124	6	-15	245598	140	136	-21
0.6000	10.47	292	-167	1	-6	1184	-45	7	145	122072	-28	202	-179
0.7000	8.98	341	97	1	172	489	-96	12	-8	73750	173	308	-8
0.8000	7.85	136	174	2	-46	619	-64	13	155	47283	-64	376	130
0.9000	6.98	85	51	1	40	241	-84	1	-170	12852	96	392	-133
1.0000	6.28	61	101	1	117	200	-102	0	30	9847	162	399	-68
1.1000	5.71	33	106	2	152	105	-126	19	-39	11880	140	476	-31
1.2000	5.24	37	106	3	172	132	-157	37	1	17746	169	624	-3
1.3000	4.83	33	98	2	-18	68	-132	59	175	8881	-125	265	110
1.4000	4.49	25	53	1	145	65	-156	5	136	9188	-174	218	-26
1.5000	4.19	30	-31	1	99	43	25	42	33	10577	31	290	-86
1.6000	3.93	47	-103	1	-44	43	167	16	110	7718	106	279	143
1.7000	3.70	38	177	1	-109	3	45	4	134	2411	64	172	59
1.8000	3.49	22	19	1	96	46	-177	8	-96	8808	172	217	-82
1.9000	3.31	31	-115	0	0	21	46	7	-39	5219	41	93	105
2.0000	3.14	14	46	0	0	39	-139	3	-147	6385	-142	123	-68

Page 6 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 9, 2017 *
 * RAO Shuttle Tanker (Ballast) *
 * *

 +++ PANEL WAVE FREQUENCY FORCES FOR KAPAL +++

=====		Pressure Name = KAPAL		Heading = 180.00	
		Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified			
ENCOUNTER		Surge Force /	Sway Force /	Heave Force /	Roll Moment /
Moment /		Pitch Moment /	Yaw		
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	/-----/		/-----/	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	72	97	0	0
0.2000	31.42	278	119	0	0
0.3000	20.94	538	155	0	0
0.4000	15.71	627	-154	0	0
0.5000	12.57	286	-88	1	168
0.6000	10.47	292	168	1	2
0.7000	8.98	341	-96	1	159
0.8000	7.85	136	-173	1	3
0.9000	6.98	85	-50	2	-116
1.0000	6.28	61	-100	2	143
1.1000	5.71	33	-105	2	73
1.2000	5.24	37	-105	3	43
1.3000	4.83	33	-97	2	-82
1.4000	4.49	25	-52	1	38
1.5000	4.19	30	32	1	141
1.6000	3.93	47	104	1	-128
1.7000	3.70	38	-176	1	-27
1.8000	3.49	22	-18	1	110
1.9000	3.31	31	116	1	-55
2.0000	3.14	14	-45	1	161

Page 7 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

 * *** MOSES *** *
 * ----- May 9, 2017 *
 * RAO Shuttle Tanker (Ballast) *
 * *

 +++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++

=====

Drift Name = KAPAL Heading = 0.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2

Reported in the Body System								
ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION			
		/-----/			/-----/			
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	
0.1000	62.832	8.3	0.0	12.4	-0.0	3138.3	0.1	
0.2000	31.416	5.8	0.0	-4.7	-0.0	896.0	0.4	
0.3000	20.944	-1.8	0.0	-28.6	-0.1	-2173.0	0.8	
0.4000	15.708	-15.1	0.0	-55.7	-0.1	-5607.9	1.5	
0.5000	12.566	-31.8	0.0	-82.2	-0.2	-8941.7	3.6	
0.6000	10.472	-47.8	-0.0	-104.6	-0.1	-11764.7	8.4	
0.7000	8.976	-59.3	-0.0	-120.6	0.0	-13784.9	16.0	
0.8000	7.854	-63.7	-0.1	-128.9	0.2	-14857.8	22.2	
0.9000	6.981	-61.8	-0.1	-129.5	0.0	-14989.3	19.9	
1.0000	6.283	-55.5	0.0	-123.3	-0.7	-14301.9	5.1	
1.1000	5.712	-47.2	0.2	-112.1	-2.5	-12990.5	-25.8	
1.2000	5.236	-40.2	1.4	-97.0	-13.9	-11208.4	-196.1	
1.3000	4.833	-28.7	-0.8	-83.4	9.2	-9737.4	89.5	
1.4000	4.488	-24.1	-0.2	-67.3	2.0	-7828.8	15.0	
1.5000	4.189	-22.5	-0.2	-52.1	2.0	-5971.2	16.9	
1.6000	3.927	-18.1	-0.3	-39.8	4.3	-4655.7	18.7	
1.7000	3.696	-14.4	0.0	-31.1	0.5	-3707.9	-14.2	
1.8000	3.491	-13.0	0.1	-23.4	-0.1	-2881.3	-22.7	
1.9000	3.307	-12.0	0.1	-17.6	-0.1	-2222.9	-29.6	
2.0000	3.142	-11.2	0.1	-13.8	-0.9	-1811.5	-41.2	

Page 8 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 9, 2017                             *
* RAO Shuttle Tanker (Ballast)                                           *
*                                     *                                           *
*****

```

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++

=====

Drift Name = KAPAL Heading = 180.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Mean Drift Force (With No Force Factor) / (Wave Amplitude)**2

Reported in the Body System								
ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION			
		/-----/			/-----/			
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	
0.1000	62.832	8.8	0.0	12.4	-0.0	3138.5	0.1	
0.2000	31.416	11.3	0.0	-4.7	-0.0	898.0	0.4	
0.3000	20.944	18.9	0.0	-28.6	-0.1	-2165.0	0.8	
0.4000	15.708	32.2	0.0	-55.7	-0.1	-5587.7	1.6	
0.5000	12.566	48.9	0.0	-82.2	-0.2	-8902.8	3.6	
0.6000	10.472	64.9	-0.0	-104.6	-0.1	-11701.8	8.4	
0.7000	8.976	76.1	-0.0	-120.6	0.0	-13695.4	15.9	
0.8000	7.854	80.8	-0.1	-128.9	0.2	-14742.1	22.3	
0.9000	6.981	78.9	-0.1	-129.5	0.0	-14850.3	20.4	
1.0000	6.283	72.6	0.0	-123.3	-0.7	-14143.9	6.5	
1.1000	5.712	64.4	0.2	-112.1	-2.5	-12817.7	-22.4	
1.2000	5.236	57.3	1.4	-97.0	-13.9	-11021.8	-180.4	
1.3000	4.833	45.9	-0.8	-83.4	9.2	-9556.8	77.8	
1.4000	4.488	41.2	-0.2	-67.3	2.0	-7640.2	12.2	
1.5000	4.189	39.7	-0.2	-52.1	2.0	-5775.8	12.1	
1.6000	3.927	35.2	-0.3	-39.8	4.3	-4461.0	14.9	
1.7000	3.696	31.5	0.0	-31.1	0.5	-3514.5	-15.8	
1.8000	3.491	30.1	0.1	-23.4	-0.1	-2687.4	-24.0	
1.9000	3.307	29.1	0.1	-17.6	-0.1	-2026.5	-31.0	
2.0000	3.142	28.3	0.1	-13.8	-0.9	-1613.9	-41.9	

Page 9 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 9, 2017                             *
* RAO Shuttle Tanker (Ballast)                                           *
*                                     *                                           *
*****

```

+++ MEAN DRIFT FORCES FOR KAPAL +++

=====

Drift Name = KAPAL Heading = 0.00 Computed

Force Factor = 1.0000 Radiation Factor = 1.0000 Coriolis Factor = 1.00

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /		
		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.		
Frequency	Period								
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.937	83	0.000	0	0.998	-6	0.001	-13
0.2000	31.42	0.898	61	0.000	0	0.969	-28	0.001	-55
0.3000	20.94	0.769	25	0.000	0	0.844	-64	0.001	-117
0.4000	15.71	0.501	-24	0.000	0	0.544	-115	0.002	169
0.5000	12.57	0.142	-89	0.000	0	0.118	-156	0.003	79
0.6000	10.47	0.106	12	0.000	0	0.221	-112	0.002	-56
0.7000	8.98	0.089	-81	0.000	0	0.111	170	0.005	-34
0.8000	7.85	0.028	-5	0.000	0	0.098	165	0.001	91
0.9000	6.98	0.014	-126	0.000	0	0.027	119	0.001	-150
1.0000	6.28	0.008	-78	0.000	0	0.015	91	0.001	-69
1.1000	5.71	0.004	-73	0.000	0	0.006	61	0.000	0
1.2000	5.24	0.003	-73	0.000	0	0.005	28	0.000	0
1.3000	4.83	0.003	-81	0.000	0	0.002	52	0.001	3
1.4000	4.49	0.002	-125	0.000	0	0.002	27	0.000	0
1.5000	4.19	0.002	148	0.000	0	0.001	-149	0.001	-133
1.6000	3.93	0.002	76	0.000	0	0.001	-9	0.000	0
1.7000	3.70	0.002	-2	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.8000	3.49	0.001	-160	0.000	0	0.001	3	0.000	0
1.9000	3.31	0.001	64	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.0000	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0

Page 12 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

*** MOSES ***
 May 9, 2017
 RAO Shuttle Tanker (Ballast)
 * Draft = 7.0 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 21.7 Meters *
 * Roll Gy. Radius = 16.0 Meters Pitch Gy. Radius = 79.4 Meters Yaw Gy. Radius = 79.4 Meters *
 * Heading = 180.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
 *

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /	Sway /	Heave /	Roll /	Pitch /	Yaw /		
		Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.		
Frequency	Period								
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.937	-82	0.000	0	0.998	7	0.001	14
0.2000	31.42	0.898	-60	0.000	0	0.969	29	0.001	55
0.3000	20.94	0.769	-24	0.000	0	0.843	64	0.001	114
0.4000	15.71	0.501	25	0.000	0	0.539	113	0.002	178
0.5000	12.57	0.142	91	0.000	0	0.093	-171	0.003	-112
0.6000	10.47	0.106	-10	0.000	0	0.214	56	0.003	-12
0.7000	8.98	0.089	84	0.001	22	0.094	179	0.008	81
0.8000	7.85	0.028	7	0.000	0	0.103	17	0.003	-163
0.9000	6.98	0.014	131	0.000	0	0.039	-127	0.001	30
1.0000	6.28	0.008	81	0.000	0	0.016	105	0.001	-76
1.1000	5.71	0.004	73	0.000	0	0.007	27	0.000	0
1.2000	5.24	0.003	74	0.000	0	0.003	7	0.001	40
1.3000	4.83	0.003	82	0.000	0	0.003	64	0.001	-113
1.4000	4.49	0.002	126	0.000	0	0.001	46	0.000	0
1.5000	4.19	0.002	-147	0.000	0	0.001	-149	0.000	0
1.6000	3.93	0.002	-75	0.000	0	0.000	0	0.001	-81
1.7000	3.70	0.002	3	0.000	0	0.001	-18	0.000	0
1.8000	3.49	0.001	161	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.9000	3.31	0.001	-63	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.0000	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0

```

*               *** MOSES ***               *
*               -----               May 9, 2017   *
*               RAO Shuttle Tanker (Ballast)               *
*               *               *
*               Draft   = 7.0 Meters   Trim Angle = 0.00 Deg.   *
*               *               *

```

+++ ADDED INERTIA COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Values Normalized By Mass with Weight = 71160.4

Encounter	Period	Added Mass Coefficients	Added Radii of Gyration			
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.0651	0.4343	7.8522	15.079	166.959	44.947
31.42	0.0651	0.4626	4.9571	15.315	133.004	46.058
20.94	0.0651	0.5064	3.6024	15.605	113.234	47.776
15.71	0.0651	0.5377	2.8789	15.613	100.762	49.213
12.57	0.0651	0.5172	2.4803	15.073	92.854	49.145
10.47	0.0651	0.4433	2.2740	14.193	88.092	47.199
8.98	0.0651	0.3507	2.1919	13.405	85.600	43.942
7.85	0.0651	0.2658	2.1915	12.912	84.730	39.972
6.98	0.0651	0.1968	2.2423	12.684	84.951	35.648
6.28	0.0651	0.1444	2.3217	12.626	85.856	31.390
5.71	0.0651	0.1071	2.4153	12.657	87.192	27.684
5.24	0.0651	0.0823	2.5537	12.716	89.653	24.797
4.83	0.0651	0.0677	2.5285	12.677	87.888	22.790
4.49	0.0651	0.0539	2.6241	12.888	90.061	20.851
4.19	0.0651	0.0517	2.6869	13.035	91.246	20.382
3.93	0.0651	0.0508	2.7421	13.042	92.410	20.087
3.70	0.0651	0.0507	2.7888	13.126	93.100	19.781
3.49	0.0651	0.0503	2.8385	13.203	93.851	19.106
3.31	0.0651	0.0559	2.8633	13.204	94.681	20.079
3.14	0.0651	0.0600	2.8877	13.221	95.242	20.291

```

*               *** MOSES ***               *
*               -----               May 9, 2017   *
*               RAO Shuttle Tanker (Ballast)               *
*               *               *
*               Draft   = 7.0 Meters   Trim Angle = 0.00 Deg.   *
*               *               *

```

+++ LINEARIZED DAMPING COEFFICIENTS FOR KAPAL +++

=====

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

Values Normalized By Mass with Weight = 71160.4

Encounter	Period	Damping / Mass	Damping Radii of Gyration			
Sec.	-Surge-	-Sway -	-Heave-	-Roll -	-Pitch-	--Yaw--
62.83	0.0000	0.0001	0.6043	0.288	46.113	0.454
31.42	0.0000	0.0020	0.9817	0.870	59.249	2.531
20.94	0.0000	0.0142	1.1750	2.210	65.404	6.780
15.71	0.0000	0.0516	1.2420	3.956	67.941	13.007
12.57	0.0000	0.1176	1.2205	5.515	68.217	20.005
10.47	0.0000	0.1907	1.1367	6.388	66.910	26.300
8.98	0.0000	0.2486	1.0126	6.563	64.471	31.236
7.85	0.0000	0.2856	0.8686	6.280	61.253	34.820
6.98	0.0000	0.3040	0.7224	5.775	57.582	37.114
6.28	0.0000	0.3075	0.5873	5.187	53.746	38.153
5.71	0.0000	0.3001	0.4715	4.596	50.028	38.169
5.24	0.0000	0.2858	0.3880	4.036	47.330	37.513
4.83	0.0000	0.2664	0.2752	3.447	40.858	36.405
4.49	0.0000	0.2461	0.2254	3.169	38.727	34.936
4.19	0.0000	0.2316	0.2165	2.997	38.605	34.339
3.93	0.0000	0.2108	0.1649	2.479	35.334	33.015

3.70	0.0000	0.1932	0.1238	2.484	31.425	31.597
3.49	0.0000	0.1772	0.1139	2.742	30.111	30.377
3.31	0.0000	0.1615	0.0982	2.291	28.949	29.470
3.14	0.0000	0.1467	0.0882	2.257	28.023	27.874

Page 15 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*               *** MOSES ***               *
*               -----               May 9, 2017               *
*               RAO Shuttle Tanker (Ballast)               *
*               *               *
*               Draft   = 7.0 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.   *
*               Heading = 0.00 Deg.           Linearization Based on 1/ 20   *
*               *               *

```

+++ LINEARZED WAVE FREQUENCY FORCES +++

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER Surge Force / Sway Force / Heave Force / Roll Moment / Pitch Moment / Yaw Moment /

Frequency	Period	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase
0.1000	62.83	72 -96	0 0	10158 -4	6 -4	45435 -72	2 -8
0.2000	31.42	278 -118	0 0	8913 -19	3 -15	151826 -105	7 -40
0.3000	20.94	538 -154	0 0	6936 -47	1 46	283006 -137	8 -108
0.4000	15.71	627 155	1 -82	3945 -88	4 31	352874 178	19 74
0.5000	12.57	286 89	1 174	654 -124	2 -60	263274 123	71 -37
0.6000	10.47	292 -167	1 -6	1184 -45	3 63	45723 81	109 -172
0.7000	8.98	341 97	1 172	489 -96	1 -58	92863 135	145 -9
0.8000	7.85	136 174	2 -46	619 -64	5 -111	28398 113	181 127
0.9000	6.98	85 51	1 40	241 -84	12 42	42005 96	212 -129
1.0000	6.28	61 101	1 117	200 -102	12 115	26822 98	226 -72
1.1000	5.71	33 106	2 152	105 -126	4 -109	17660 94	214 -36
1.2000	5.24	37 106	3 172	132 -157	12 19	9414 103	263 1
1.3000	4.83	33 98	2 -18	68 -132	44 180	1383 -66	215 55
1.4000	4.49	25 53	1 145	65 -156	12 141	2894 131	120 -19
1.5000	4.19	30 -31	1 99	43 25	48 44	5240 40	146 -91
1.6000	3.93	47 -103	1 -44	43 167	7 66	7326 65	114 154
1.7000	3.70	38 177	1 -109	3 45	6 -144	2206 60	87 49
1.8000	3.49	22 19	1 96	46 -177	2 152	3484 156	86 -81
1.9000	3.31	31 -115	0 0	21 46	9 -48	2932 38	57 106
2.0000	3.14	14 46	0 0	39 -139	5 150	1779 -149	61 -65

Page 16 Licensee - Institut Teknologi Sepuluh Nop Rev 07.10.01.11

```

*               *** MOSES ***               *
*               -----               May 9, 2017               *
*               RAO Shuttle Tanker (Ballast)               *
*               *               *
*               Draft   = 7.0 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.   *
*               Heading = 180.00 Deg.         Linearization Based on 1/ 20   *
*               *               *

```

+++ LINEARZED WAVE FREQUENCY FORCES +++

Results are in Body System

Of Point On Body KAPAL At X = -123.2 Y = -0.0 Z = 8.6

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER Surge Force / Sway Force / Heave Force / Roll Moment / Pitch Moment / Yaw Moment /

Frequency	Period	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.	Wave Ampl.
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase	Ampl. Phase
0.1000	62.83	72 97	0 0	10158 10	6 10	45763 77	2 9
0.2000	31.42	278 119	0 0	8911 38	3 36	152997 121	7 41
0.3000	20.94	538 155	0 0	6925 83	0 -87	284961 168	11 97
0.4000	15.71	627 -154	0 0	3918 145	3 -45	354298 -130	10 -80
0.5000	12.57	286 -88	1 168	655 -112	1 -135	262346 -51	64 35
0.6000	10.47	292 168	1 2	1192 120	6 -58	53516 83	102 153
0.7000	8.98	341 -96	1 159	575 -84	2 108	97319 -51	108 -15
0.8000	7.85	136 -173	1 3	690 143	10 -11	46794 152	183 -174
0.9000	6.98	85 -50	2 -116	384 17	9 -167	48463 16	191 57

1.0000	6.28	61 -100	2 143	240 -96	12 96	34143 -72	240 -38
1.1000	5.71	33 -105	2 73	140 -166	10 -36	18129 -128	233 -98
1.2000	5.24	37 -105	3 43	92 178	40 -143	8766 -144	276 -149
1.3000	4.83	33 -97	2 -82	85 -121	55 65	6459 -118	365 165
1.4000	4.49	25 -52	1 38	39 -139	5 116	5810 -115	183 -143
1.5000	4.19	30 32	1 141	56 25	38 73	5390 -17	174 -52
1.6000	3.93	47 104	1 -128	12 18	7 108	5245 94	204 33
1.7000	3.70	38 -176	1 -27	43 158	3 -88	4632 154	137 152
1.8000	3.49	22 -18	1 110	32 163	1 115	1051 -159	167 -65
1.9000	3.31	31 116	1 -55	37 132	8 -92	2710 144	108 121
2.0000	3.14	14 -45	1 161	27 -24	6 93	3043 -38	70 -29

LAMPIRAN B
Response Amplitude Operator (RAO) Tanker
Kondisi Terapung Bebas

Arah Pembebanan 0°

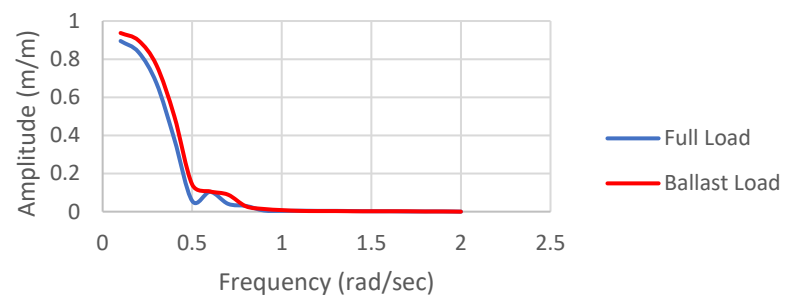
Kondisi *Full Load*

[illegible]

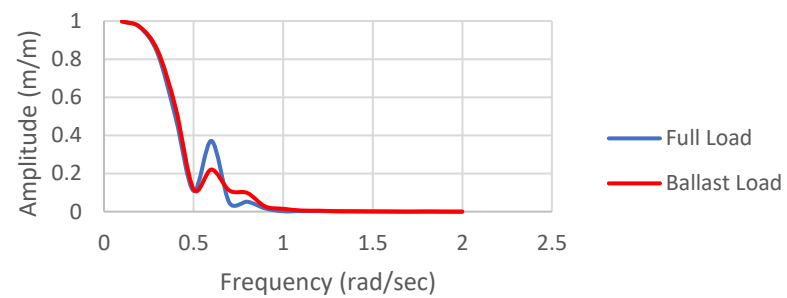
Kondisi Ballast Load

[illegible]

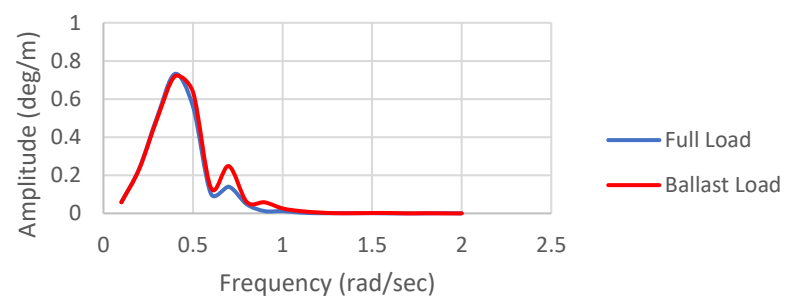
Surge
Heading 0°



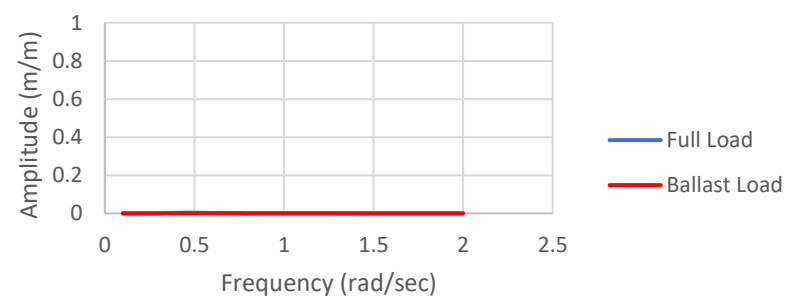
Heave
Heading 0°



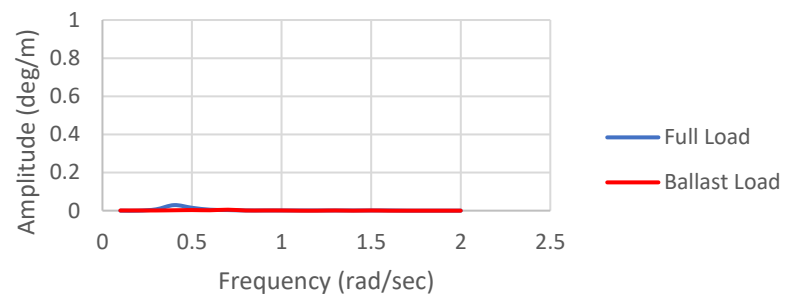
Pitch
Heading 0°



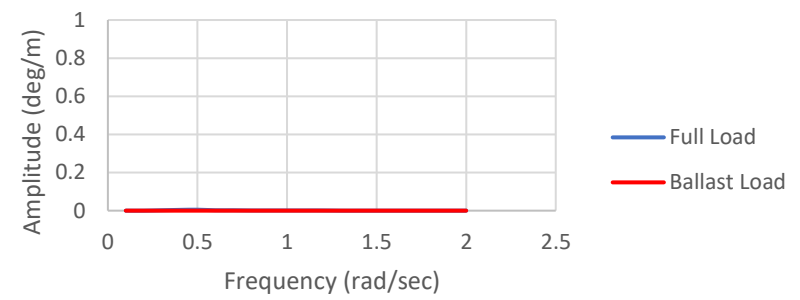
Sway
Heading 0°



Roll
Heading 0°



Yaw
Heading 0°



Arah Pembebanan 180°

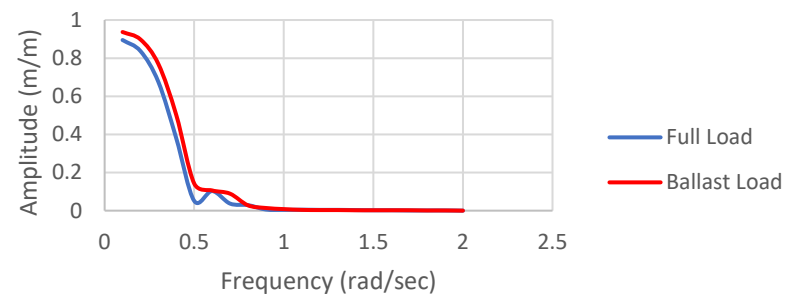
Kondisi *Full Load*

[illegible]

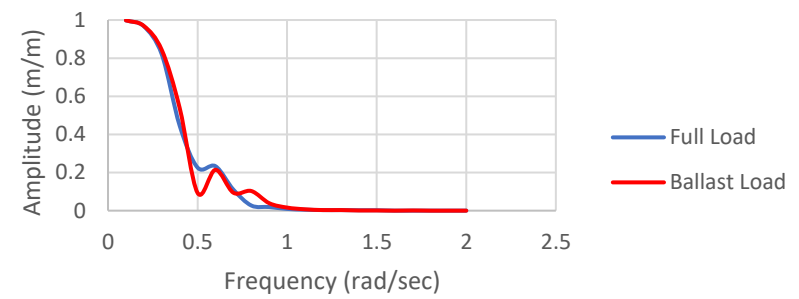
Kondisi *Ballast Load*

[illegible]

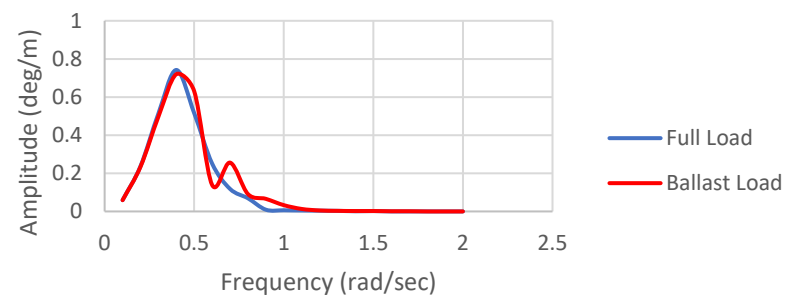
Surge
Heading 180°



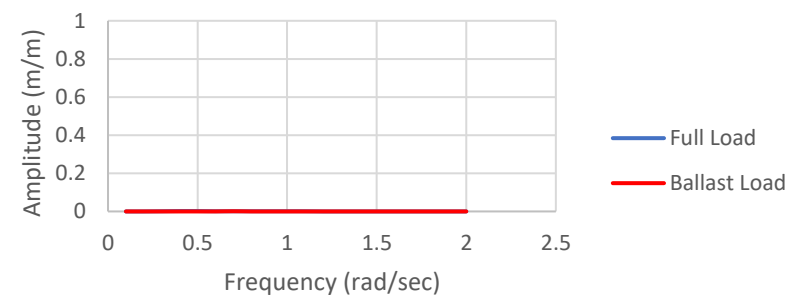
Heave
Heading 180°

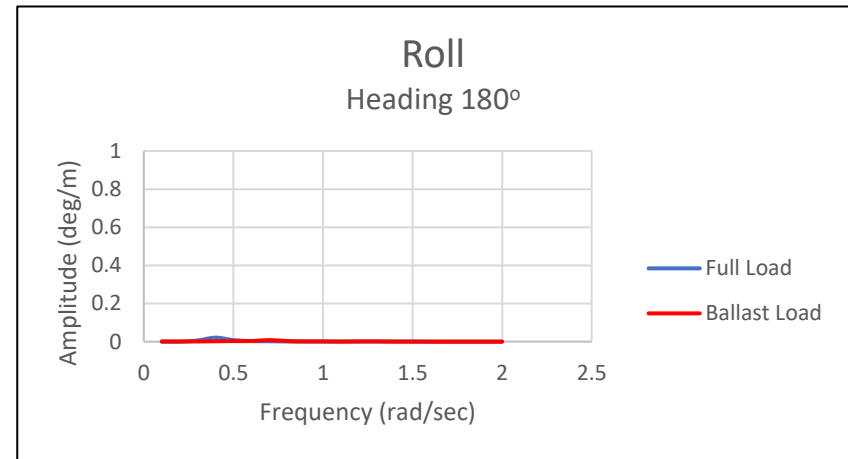
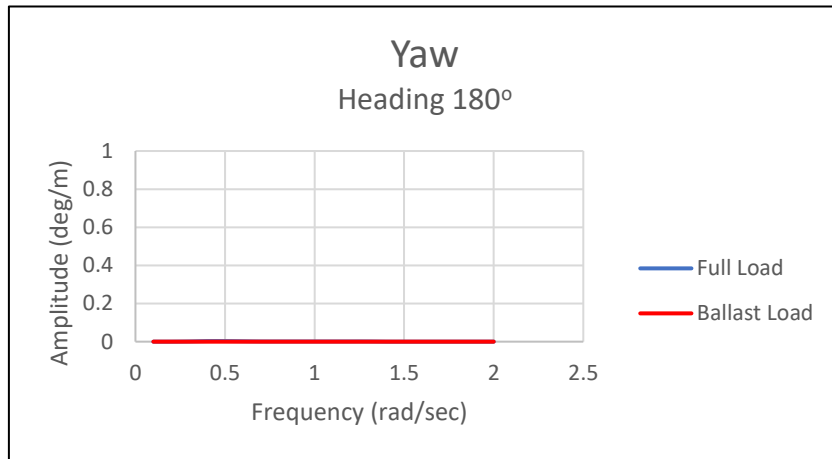


Pitch
Heading 180°



Sway
Heading 180°





LAMPIRAN C

Hasil Perhitungan *Tension*

Software ORCAFLEX

Hawser Keadaan Full Load

Full Results for hawser1 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	274.6980233
End Tension (kN)	274.6980051
End Shear Force (kN)	0.100092666
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	93.89746952
End Force Azimuth (deg)	357.57395
End Force Declination (deg)	94.02003481
End Force Ez-angle (deg)	93.91834655
End Force Exy-angle (deg)	184.4176258

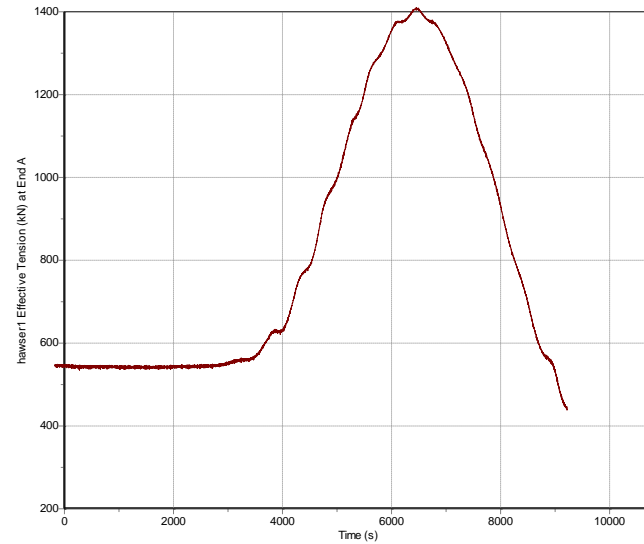
End B	
Total Force (kN)	274.6096208
End Tension (kN)	274.6096017
End Shear Force (kN)	0.102376285
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	112.4972237
End Force Azimuth (deg)	357.5806147
End Force Declination (deg)	93.719192
End Force Ez-angle (deg)	112.475865
End Force Exy-angle (deg)	176.1063738

Statistics for hawser1

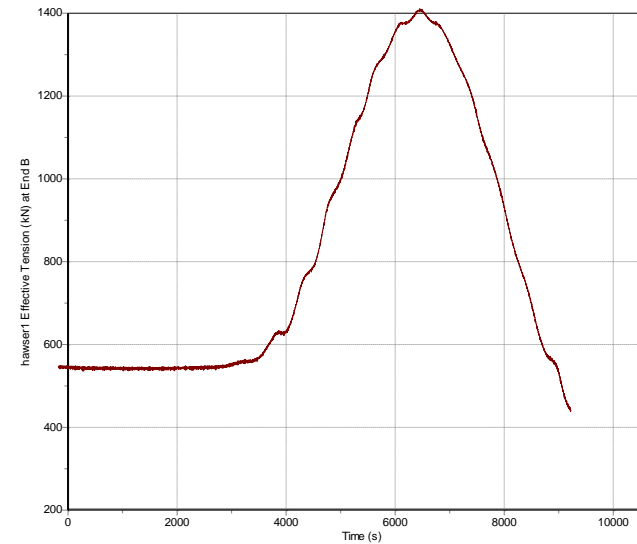
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Standard	
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	393.8760376	-0.1	396.79422	-2.1	395.876416	0.611048
	0	10800	272.0900879	10797.7	1389.361816	7614.2	704.4507574	365.6432
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	393.8691101	-0.1	396.7016907	-2.1	395.8436161	0.602403
	0	10800	272.0570984	10797.7	1389.508911	7614.2	704.5078379	365.726

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: hawser1 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: hawser1 Effective Tension at End B



Mooring Chain Keadaan Full Load

Full Results for mooring chain at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	649.7617058
End Tension (kN)	649.7367135
End Shear Force (kN)	5.698905645
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	144.0618352
End Force Azimuth (deg)	357.6034877
End Force Declination (deg)	125.8107401
End Force Ez-angle (deg)	144.5640541
End Force Exy-angle (deg)	356.7248205

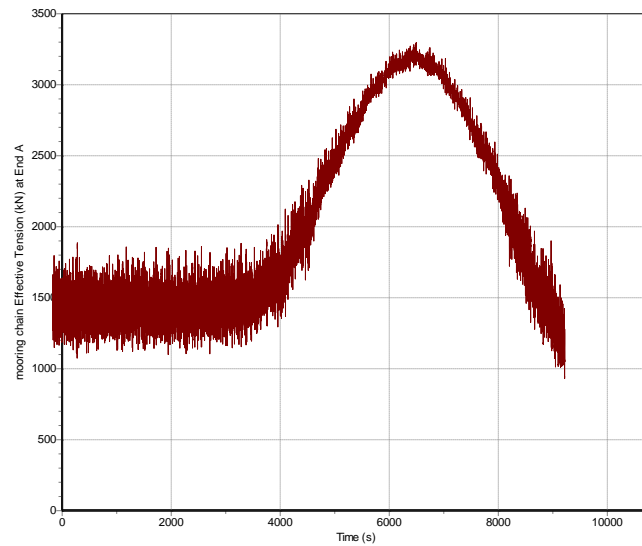
End B	
Total Force (kN)	584.1281744
End Tension (kN)	584.0899542
End Shear Force (kN)	6.682024179
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	93.59355387
End Force Azimuth (deg)	357.5359062
End Force Declination (deg)	112.9585001
End Force Ez-angle (deg)	92.93862976
End Force Exy-angle (deg)	358.2410268

Statistics for mooring chain

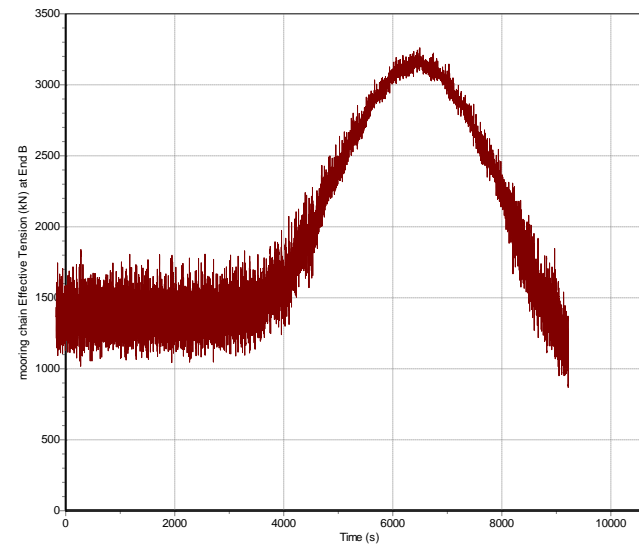
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

	Period (s)						Standard	
Variable	From	To	Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Deviation
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	869.0939941	-1.7	1139.675171	-0.1	1026.217517	74.28901395
	0	10800	479.9723511	10795.5	3202.118408	7666.3	1724.193599	766.9882644
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	806.1968994	-1.7	1079.765137	-0.1	963.6639717	74.69506281
	0	10800	409.6697388	10795.5	3159.294922	7666.3	1667.057751	774.2336643

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: mooring chain Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: mooring chain Effective Tension at End B



Anchor Chain 1 Keadaan Full Load

Full Results for anchor line 1 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	515.9918227
End Tension (kN)	515.9205962
End Shear Force (kN)	8.573183661
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	79.36661729
End Force Azimuth (deg)	359.9512357
End Force Declination (deg)	100.4321818
End Force Ez-angle (deg)	80.31809047
End Force Exy-angle (deg)	179.966785

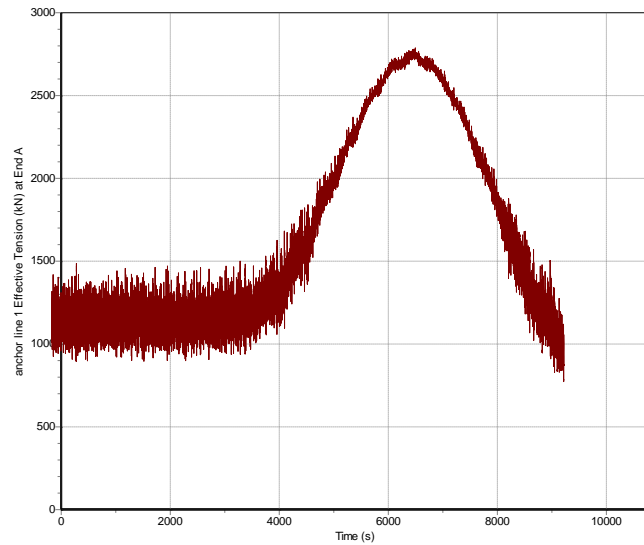
End B	
Total Force (kN)	512.6079414
End Tension (kN)	512.2190539
End Shear Force (kN)	19.96352629
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	90.73286351
End Force Azimuth (deg)	359.9371399
End Force Declination (deg)	92.96481321
End Force Ez-angle (deg)	92.96481321
End Force Exy-angle (deg)	179.9371399

Statistics for anchor line 1

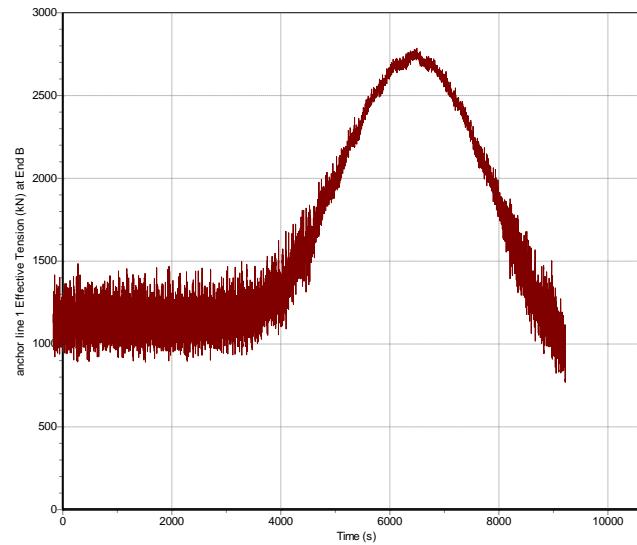
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

	Period (s)						Standard	
Variable	From	To	Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Deviation
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	657.4595947	-1.7	868.1848755	-0.1	782.0601776	58.69563859
	0	10800	383.259552	10795.5	2700.787842	7665.9	1388.625386	678.1526304
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	654.0219727	-1.7	865.1309204	-0.1	778.5402008	58.7948995
	0	10800	379.0317383	10795.5	2698.230713	7665.9	1385.631013	678.5476436

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 1 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 1 Effective Tension at End B



Anchor Chain 2 Keadaan Full Load

Full Results for anchor line 2 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	58.73709551
End Tension (kN)	58.20639502
End Shear Force (kN)	7.877941876
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	119.0606688
End Force Azimuth (deg)	127.8823989
End Force Declination (deg)	117.9136155
End Force Ez-angle (deg)	126.7562428
End Force Exy-angle (deg)	176.1756117

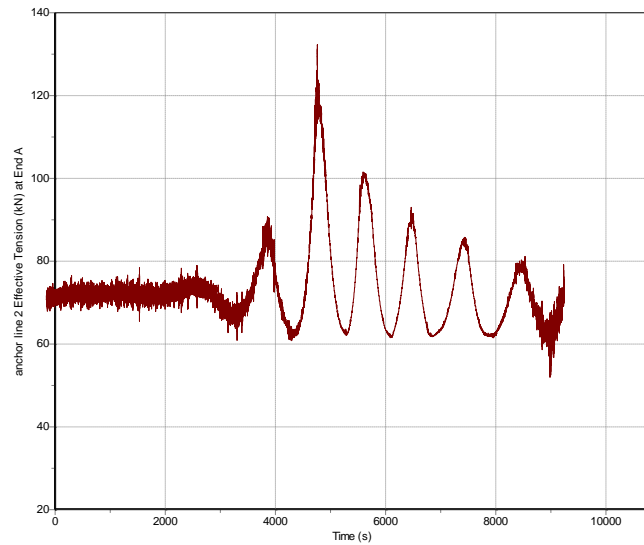
End B	
Total Force (kN)	55.5535963
End Tension (kN)	51.76773684
End Shear Force (kN)	20.15697113
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	90.7482401
End Force Azimuth (deg)	116.9521654
End Force Declination (deg)	111.8300562
End Force Ez-angle (deg)	111.8300562
End Force Exy-angle (deg)	176.9514376

Statistics for anchor line 2

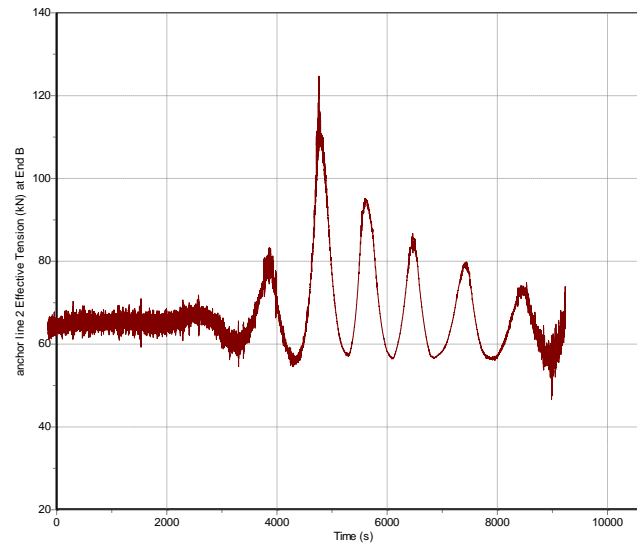
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Standard Deviation	
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	57.84086227	-0.8	59.94926834	-1.8	58.54285378	0.497963238
	0	10800	36.55044937	10510.3	128.8937988	5653.3	60.85726825	11.2914235
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	49.77970505	-4.7	51.81002426	-1.8	50.3668612	0.506572153
	0	10800	30.4175415	10510.3	120.2077255	5653.2	53.70990818	11.11127278

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 2 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 2 Effective Tension at End B



Anchor Chain 3 Keadaan Full Load

Full Results for anchor line 3 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	69.3099256
End Tension (kN)	68.85589624
End Shear Force (kN)	7.920311811
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	121.7355503
End Force Azimuth (deg)	233.5468113
End Force Declination (deg)	115.7286871
End Force Ez-angle (deg)	128.2956809
End Force Exy-angle (deg)	183.6504649

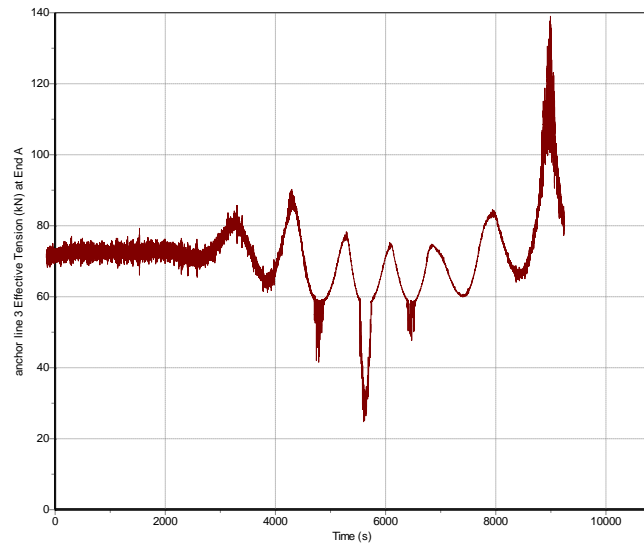
End B	
Total Force (kN)	65.20375213
End Tension (kN)	62.00989855
End Shear Force (kN)	20.1569287
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	90.74591714
End Force Azimuth (deg)	242.5633317
End Force Declination (deg)	108.5923298
End Force Ez-angle (deg)	108.5923298
End Force Exy-angle (deg)	182.5633317

Statistics for anchor line 3

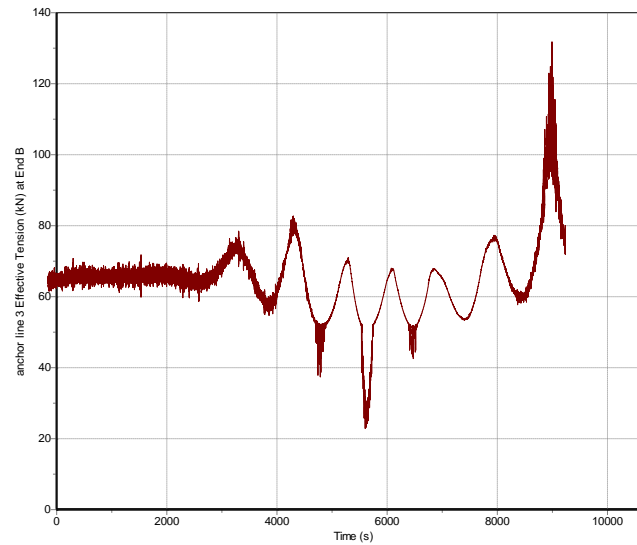
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Standard Deviation	
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	57.87505341	-0.8	59.97988129	-1.8	58.57537513	0.497050808
	0	10800	4.902070045	6618.5	136.2414856	10519.5	58.44511553	12.09771781
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	49.81358719	-4.7	51.84064484	-1.8	50.39963312	0.505598546
	0	10800	2.71573472	6618.5	127.9384003	10519.5	50.76651144	11.74095469

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 3 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 3 Effective Tension at End B



Sinker Chain Keadaan Full Load

Full Results for anchor line 4 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	1075.241458
End Tension (kN)	1075.240617
End Shear Force (kN)	1.344621372
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	154.4107695
End Force Azimuth (deg)	352.4002988
End Force Declination (deg)	174.5952711
End Force Ez-angle (deg)	154.482233
End Force Exy-angle (deg)	3.452449817

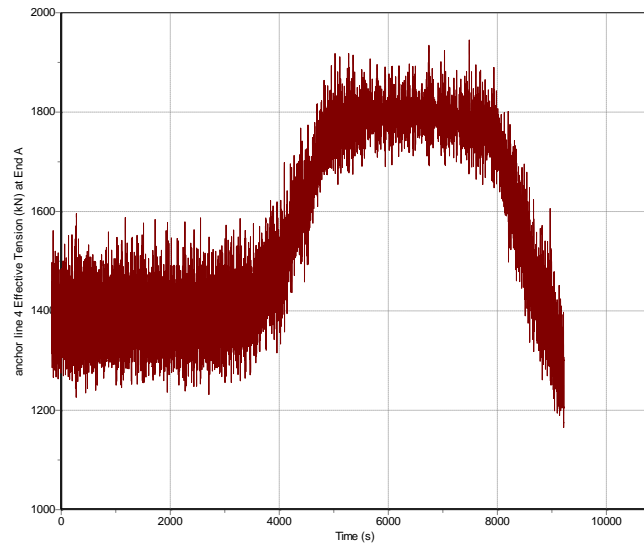
End B	
Total Force (kN)	1065.222521
End Tension (kN)	1063.040024
End Shear Force (kN)	68.15370054
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	154.4107695
End Force Azimuth (deg)	337.7802648
End Force Declination (deg)	178.0983015
End Force Ez-angle (deg)	178.0983015
End Force Exy-angle (deg)	337.7802648

Statistics for anchor line 4

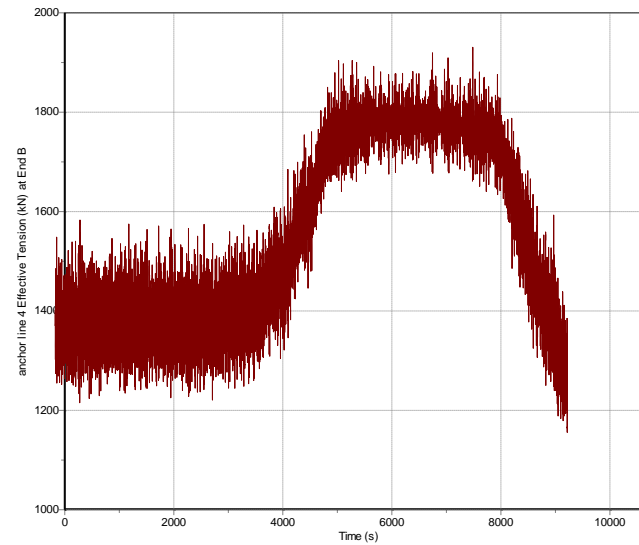
OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

	Period (s)						Standard	
Variable	From	To	Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Deviation
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	1192.400635	-1.6	1313.051636	-0.1	1263.523108	33.97589608
	0	10800	1021.687134	10795.4	1918.106567	8803.6	1476.672003	214.3825363
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	1179.055664	-1.6	1298.8573	-0.1	1249.757632	33.75486876
	0	10800	1010.694763	10795.4	1901.599365	8803.6	1461.680958	213.1343982

OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 4 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: full load (160) rev 1.sim (modified 07.34 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 4 Effective Tension at End B



Hawser Keadaan Ballast Load

Full Results for hawser1 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	795.6049487
End Tension (kN)	795.6049425
End Shear Force (kN)	0.099311403
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	94.93834026
End Force Azimuth (deg)	6.594901787
End Force Declination (deg)	94.6027475
End Force Ez-angle (deg)	94.94548982
End Force Exy-angle (deg)	223.0664427

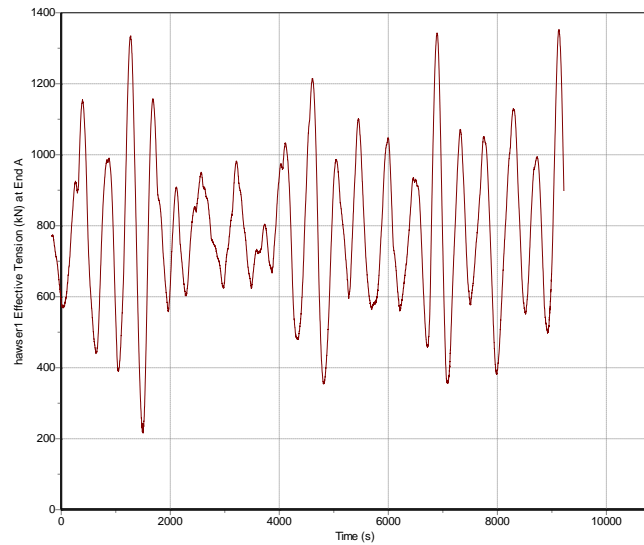
End B	
Total Force (kN)	795.5692155
End Tension (kN)	795.569213
End Shear Force (kN)	0.062701739
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	124.8838096
End Force Azimuth (deg)	6.577296847
End Force Declination (deg)	94.50579845
End Force Ez-angle (deg)	124.8831836
End Force Exy-angle (deg)	180.2142567

Statistics for hawser1

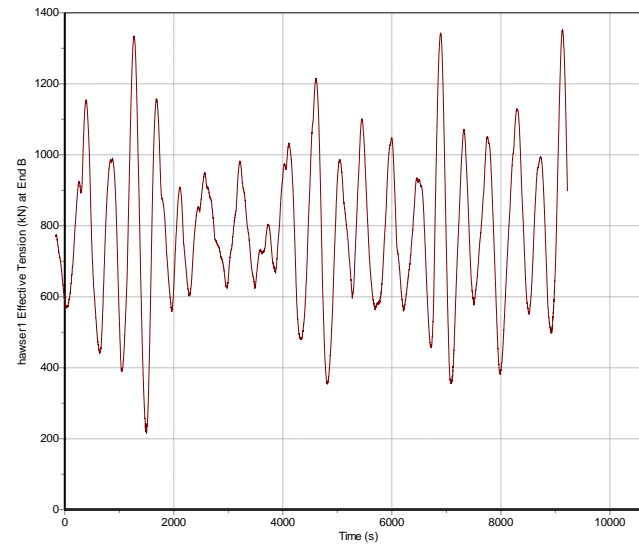
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

	Period (s)						Standard	
Variable	From	To	Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Deviation
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	649.1744385	-4.1	651.5554199	-1.3	650.0160263	0.875184929
	0	10800	11.72992229	1922.6	1320.14978	10696	664.6131997	245.7442263
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	649.1292725	-4.1	651.4675293	-1.2	649.9568069	0.866458493
	0	10800	11.69284058	1922.6	1320.141846	10696.1	664.5609393	245.7861361

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: hawser1 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: hawser1 Effective Tension at End B



Mooring Chain Keadaan Ballast Load

Full Results for mooring chain at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	1749.837334
End Tension (kN)	1749.819979
End Shear Force (kN)	7.793321039
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	144.6811773
End Force Azimuth (deg)	6.075124929
End Force Declination (deg)	114.5655112
End Force Ez-angle (deg)	144.9362843
End Force Exy-angle (deg)	359.1961362

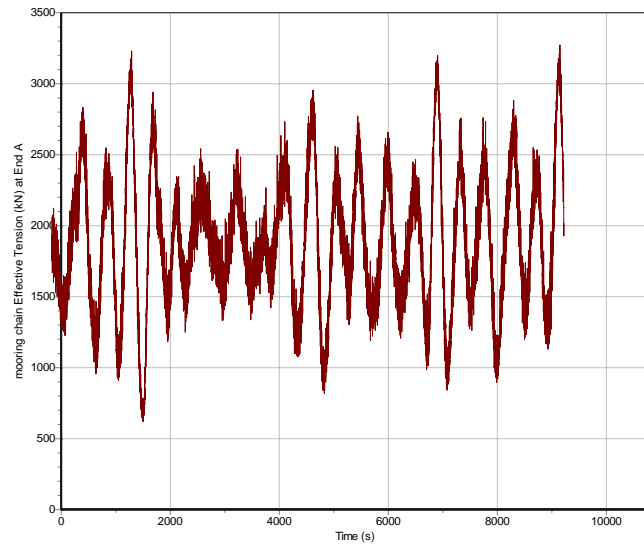
End B	
Total Force (kN)	1692.019794
End Tension (kN)	1692.00329
End Shear Force (kN)	7.473302111
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	139.4565159
End Force Azimuth (deg)	5.877021081
End Force Declination (deg)	108.1143876
End Force Ez-angle (deg)	139.2941028
End Force Exy-angle (deg)	34.63011512

Statistics for mooring chain

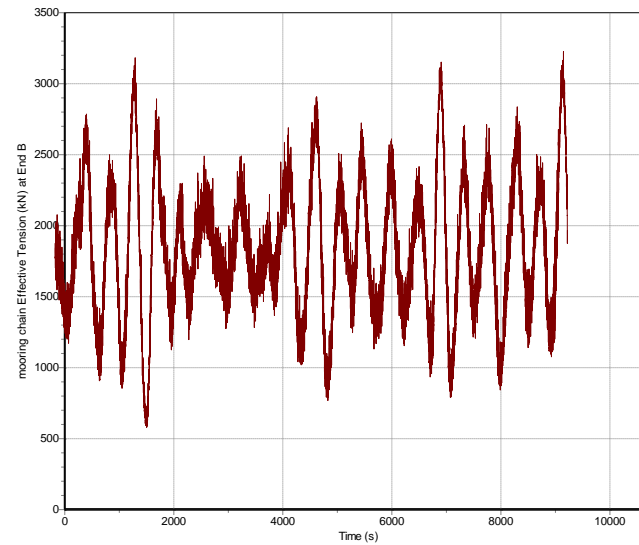
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Mean	Standard Deviation
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	1428.658691	-1.8	1626.219727	-4	1523.614619	54.63449729
	0	10800	127.2160721	1928.4	3173.412842	10716.5	1569.537869	541.3102199
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	1367.855103	-1.8	1567.639771	-4	1463.977527	55.32493559
	0	10800	77.42914581	1923.6	3118.497559	10716.5	1510.209197	542.5878103

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: mooring chain Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: mooring chain Effective Tension at End B



Anchor Chain 1 Keadaan Ballast Load

Full Results for anchor line 1 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	1510.204453
End Tension (kN)	1510.179722
End Shear Force (kN)	8.642832185
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	134.0487409
End Force Azimuth (deg)	0.242917621
End Force Declination (deg)	96.22354367
End Force Ez-angle (deg)	134.3104546
End Force Exy-angle (deg)	196.8695282

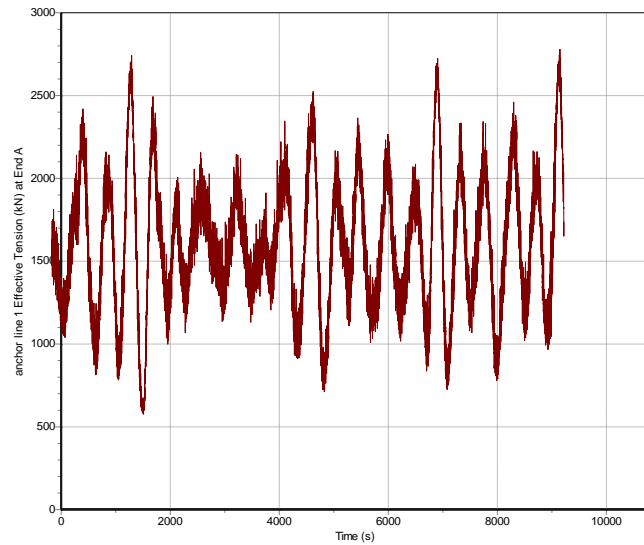
End B	
Total Force (kN)	1508.012663
End Tension (kN)	1507.880836
End Shear Force (kN)	19.93927301
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	92.59549902
End Force Azimuth (deg)	0.24063245
End Force Declination (deg)	93.35309842
End Force Ez-angle (deg)	93.35309842
End Force Exy-angle (deg)	180.2406324

Statistics for anchor line 1

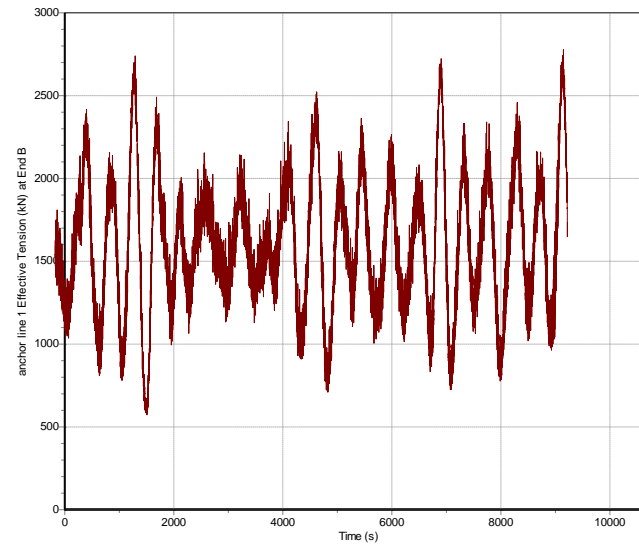
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Mean	Standard Deviation
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	1189.143311	-1.8	1366.068481	-4	1274.184145	48.52976266
	0	10800	157.9546051	1929.2	2689.95166	10716.5	1327.114137	461.6650665
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	1185.888184	-1.8	1363.366333	-4	1271.17887	48.69238367
	0	10800	153.4893799	1929.2	2687.107666	10716.5	1324.213527	461.8614532

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 1 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 1 Effective Tension at End B



Anchor Chain 2 Keadaan Ballast Load

Full Results for anchor line 2 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	110.6134488
End Tension (kN)	110.3098232
End Shear Force (kN)	8.19011362
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	60.65718401
End Force Azimuth (deg)	124.6779355
End Force Declination (deg)	110.8297918
End Force Ez-angle (deg)	64.0262909
End Force Exy-angle (deg)	183.2026203

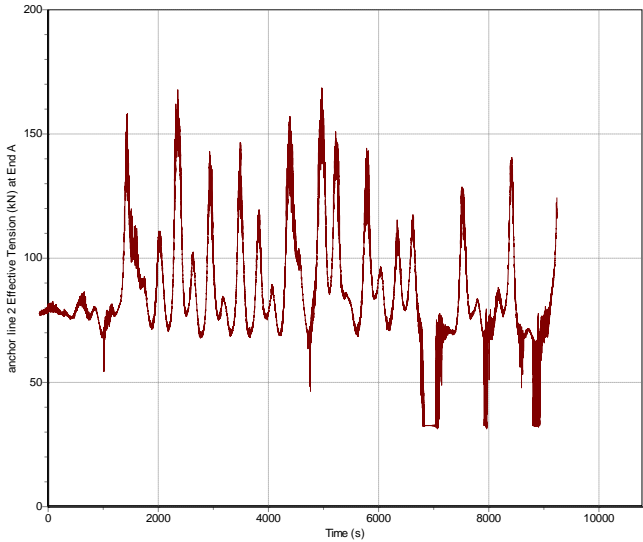
End B	
Total Force (kN)	104.1049326
End Tension (kN)	102.1348933
End Shear Force (kN)	20.15689824
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	90.73667645
End Force Azimuth (deg)	118.3727578
End Force Declination (deg)	101.803228
End Force Ez-angle (deg)	101.803228
End Force Exy-angle (deg)	178.37203

Statistics for anchor line 2

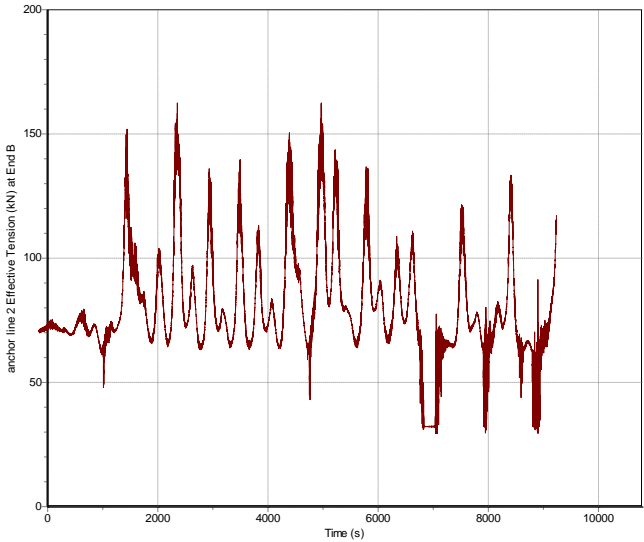
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

	Period (s)						Standard	
Variable	From	To	Minimum	Time	Maximum	Time	Mean	Deviation
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	55.47771835	-4.7	56.13370895	-1.9	55.76061368	0.170457136
	0	10800	2.262686729	9332.8	160.0551147	5891.6	64.76300246	24.83342779
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	47.22023392	-4.6	47.97439957	-1.9	47.55814428	0.194260865
	0	10800	0.166518018	8280.4	153.0705109	5891.6	58.35386572	23.85268254

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 2 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 2 Effective Tension at End B



Anchor Chain 3 Keadaan Ballast Load

Full Results for anchor line 3 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	45.22376662
End Tension (kN)	44.59234633
End Shear Force (kN)	7.530718136
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	103.4178056
End Force Azimuth (deg)	229.242385
End Force Declination (deg)	123.5449829
End Force Ez-angle (deg)	106.3151465
End Force Exy-angle (deg)	144.9643633

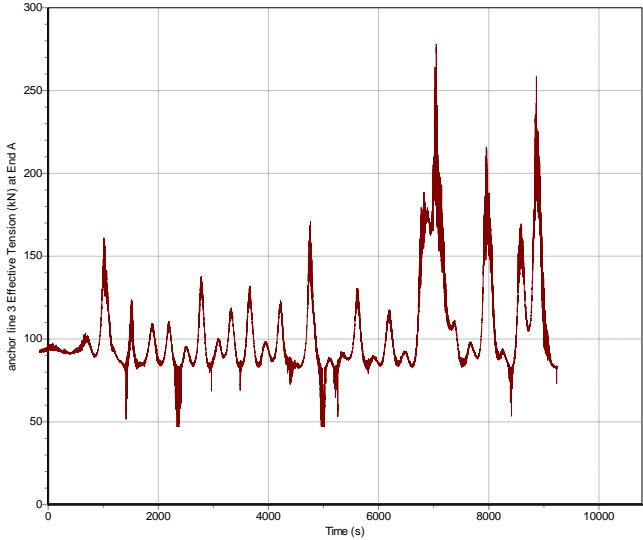
End B	
Total Force (kN)	45.16618862
End Tension (kN)	40.41625602
End Shear Force (kN)	20.16211407
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	90.75063676
End Force Azimuth (deg)	244.7208781
End Force Declination (deg)	117.0085715
End Force Ez-angle (deg)	117.0085715
End Force Exy-angle (deg)	184.7208781

Statistics for anchor line 3

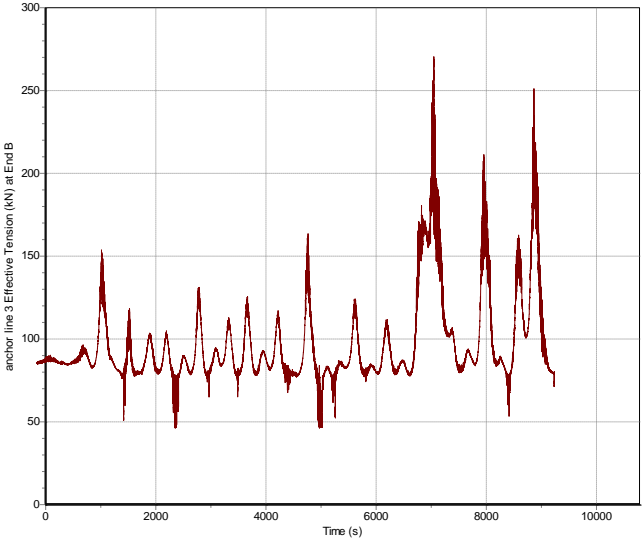
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Standard Deviation	
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	55.73235321	-4.7	56.37615204	-1.9	56.00910764	0.167464548
	0	10800	3.609149933	5890	269.0355835	8282.7	66.86230553	30.36217397
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	47.48065186	-4.6	48.21909332	-1.9	47.81107793	0.190408829
	0	10800	2.538518906	2883.1	260.3688049	8282.7	60.65198689	29.70685071

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 3 Effective Tension at End A



OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 3 Effective Tension at End B



Sinker Chain Keadaan Ballast Load

Full Results for anchor line 4 at time 10.800E3s

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

End A	
Total Force (kN)	1308.61367
End Tension (kN)	1308.612717
End Shear Force (kN)	1.578686025
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	133.7309224
End Force Azimuth (deg)	29.01045467
End Force Declination (deg)	170.7670731
End Force Ez-angle (deg)	133.685451
End Force Exy-angle (deg)	133.9620913

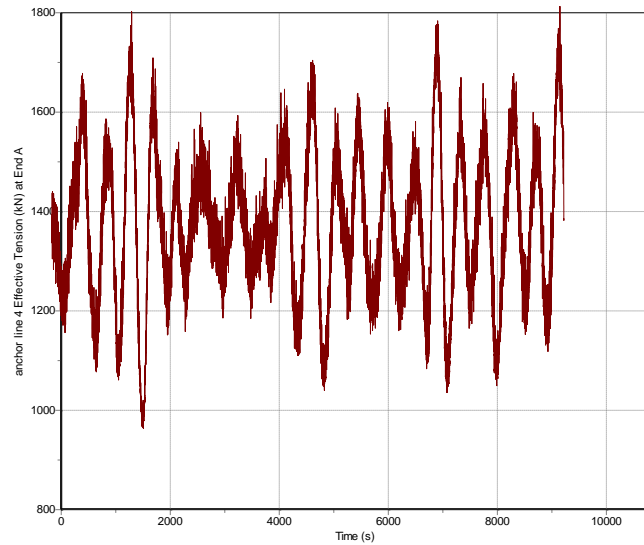
End B	
Total Force (kN)	1294.950826
End Tension (kN)	1293.182696
End Shear Force (kN)	67.6472853
Total Moment (kN.m)	0
End Bend Moment (kN.m)	0
End Torque (kN.m)	0
End Curvature (rad/m)	0
End Ez-angle (deg)	133.7309224
End Force Azimuth (deg)	41.2605186
End Force Declination (deg)	173.1548403
End Force Ez-angle (deg)	173.1548403
End Force Exy-angle (deg)	41.2605186

Statistics for anchor line 4

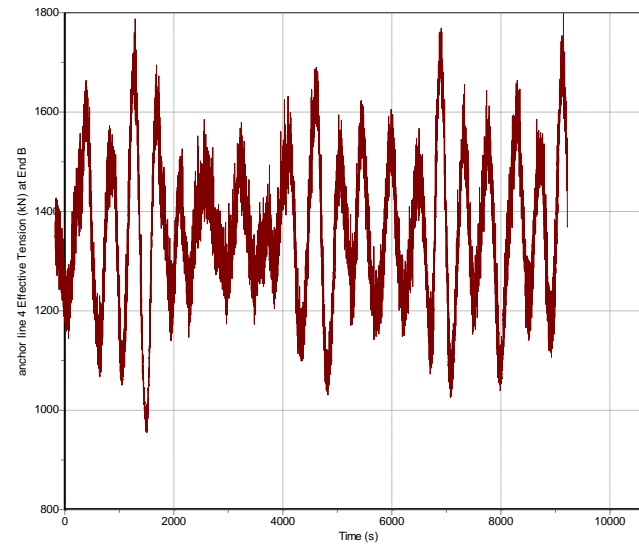
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)

Variable	Period (s)		Minimum		Maximum		Standard Deviation	
	From	To						
Effective Tension (kN) at End A	-8	0	1249.150024	-1.8	1314.253662	-4	1282.2315	18.41245769
	0	10800	820.2426758	1927.5	1796.098633	10716.6	1288.220705	170.2706594
Effective Tension (kN) at End B	-8	0	1234.292847	-1.8	1299.055176	-4	1267.212424	18.31592824
	0	10800	810.5302124	1927.5	1778.879761	10716.6	1273.286362	169.2250549

OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 4 Effective Tension at End A



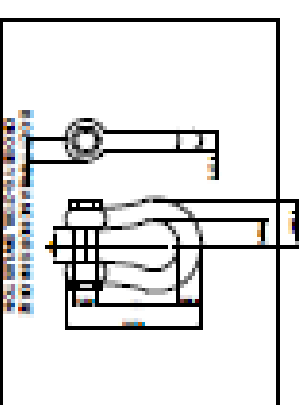
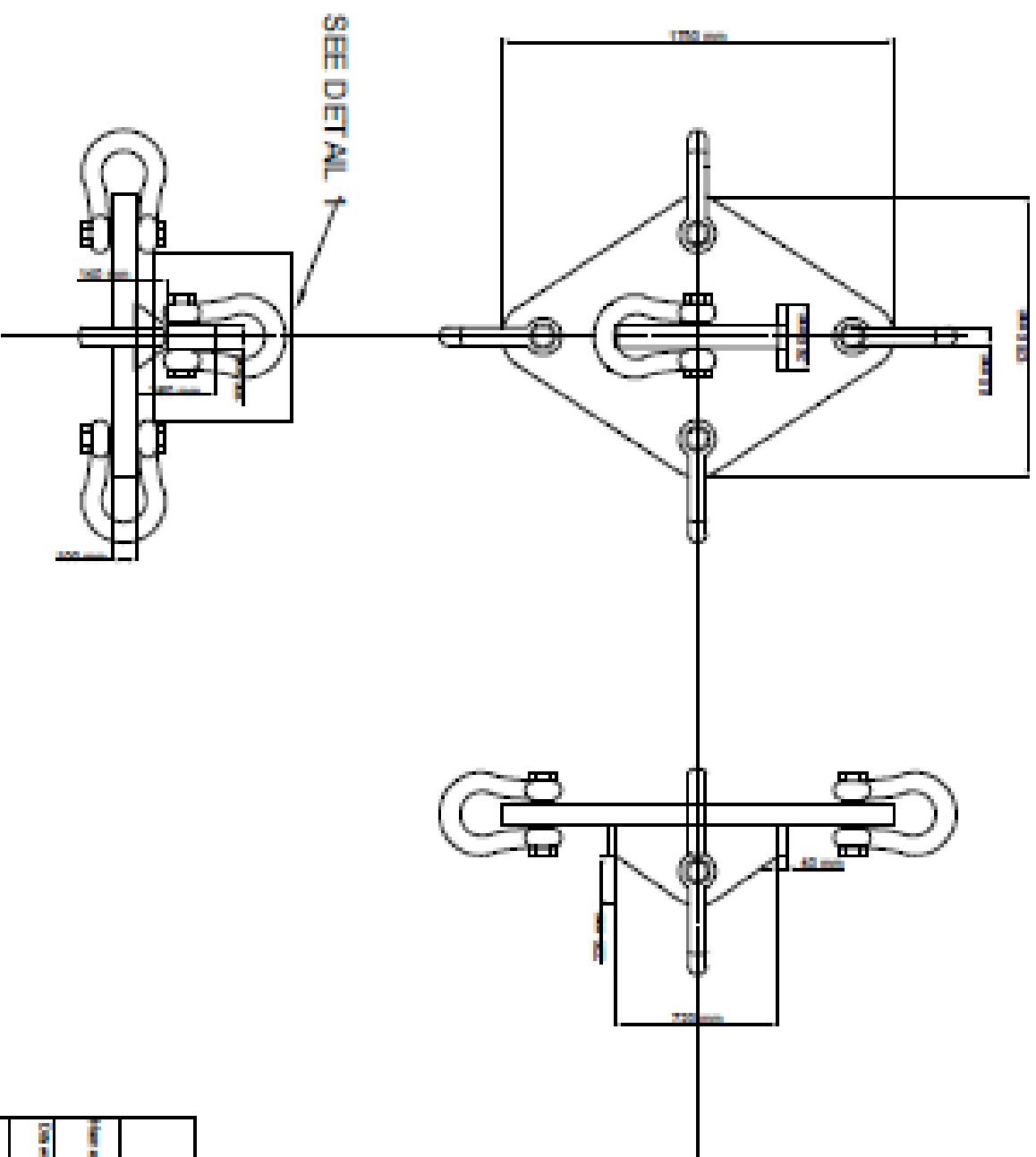
OrcaFlex 9.2a: Ballast load (160) rev1.sim (modified 07.25 on 06/05/2017 by OrcaFlex 9.2a)
Time History: anchor line 4 Effective Tension at End B



LAMPIRAN D
Pemodelan *Link Plate*

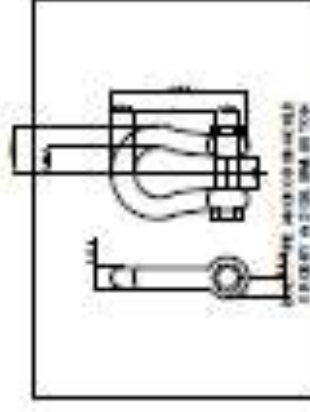
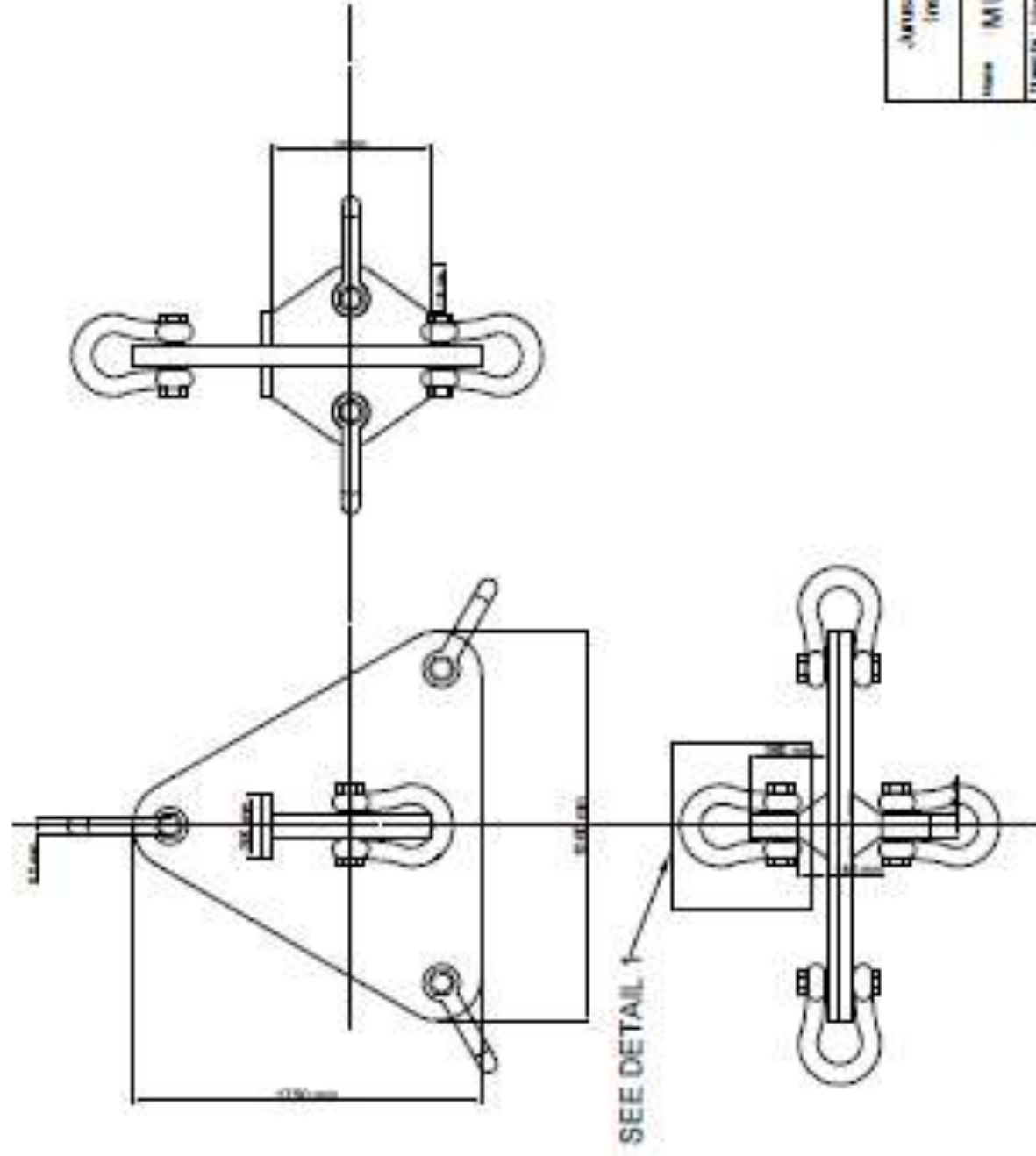
Material properties A-572 grade 50

Physical Properties	Metric	English	
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	
Hardness. Brinell	135	135	
Hardness. Rockwell B	74	74	
Tensile Strength, Ultimate	450 MPa	65300 psi	
Tensile Strength, Yield	345 Mpa	50000 psi	
Elongation at Break	18%	18%	In 200 mm
	21%	21%	In 50 mm
Bulk Modulus	160 Gpa	23200 ksi	
Shear Modulus	80 Gpa	11600 ksi	



DETAIL 1

Jurnal Teknik Kelautan - Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya		
Nama : MULTI LEG ANCHOR MOORING		
Desain by : Harisath Maulana 4013100040		
Desaining No : 1	Scale : 1 : 20	
Desaining Title : LINK PLATE 1		Detail No :



DETAIL 1

Jurusan Teknik Kelautan - Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Nama : MULTILEG ANCHOR MOORING

Desain : Harizah Muslim - 4013100046

Desain No. 1

Scale : 1 : 20

Desain No. : LINK PLATE 2

Desain

BIODATA PENULIS



Hamzah Muslim dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 2 Juni 1995, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Pucang IV Sidoarjo pada tahun 2001-2007, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Al Falah Deltasari Sidoarjo pada tahun 2007-2010 dan SMA Negeri 15 Surabaya pada tahun 2010-2013. Setelah menyelesaikan pendidikan SMA pada tahun 2013, penulis diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA), Koordinator Logistik OCEANO pada tahun 2016, dan beberapa acara HIMATEKLA. Pada tahun 2016 penulis berkesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. Spektra Megah Semesta. Selama menempuh pendidikan S-1 selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan struktur lepas pantai sehingga membuat penulis mengambil topik dalam tugas akhir ini berhubungan dengan olah gerak bangunan apung dan analisis kekuatan strukturnya.

Kontak Penulis

Email : hamzahmuslim02@gmail.com